

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ  
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ ТА МАШИН

«На правах рукопису»

УДК \_\_\_\_\_

До захисту допущено

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ О.В.Шевченко

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

## Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра  
зі спеціальності 131 Прикладна механіка

на тему **Підвищення показників працездатності токарного  
вертикального верстата з числовим програмним керуванням**

Виконав (-ла): студент (-ка) \_\_\_\_\_ ІІ курсу , групи МВ – 81мп

\_\_\_\_\_ Колода Яна Миколаївна

\_\_\_\_\_ (прізвище ім'я по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник \_\_\_\_\_ ктн., доцент Гаврушкевич А.Ю.

\_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант з розділу

\_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент:

\_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (підпис)

Київ - 2019

## АНОТАЦІЯ

Магістерська дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури. Основний текст складається із 106 сторінок, включає в себе 6 таблиць і 73 рисунки.

**Об’єктом дослідження** є верстат з ЧПК ПАБ-350.

**Предметом дослідження** є показники працездатності верстата.

Дані практичні рекомендації щодо покращення характеристик працездатності металорізальних верстатів.

У магістерській дисертації розроблена конструкція шпиндельного вузла двошпиндельного вертикального верстата з ЧПК для повної комплексної обробки деталі «Кільце підшипника», проаналізовано конструкції напрямних кочення верстата та запропонована їх заміна на напрямні ковзання. Результати роботи обґрунтовують можливість та умови використання напрямних ковзання при малих швидкостях переміщення.

Запропоновано замінити систему ЧПУ на Heidenhein 640. Розроблено керуючу програму токарної обробки деталі «Шпиндель» в програмному середовищі Heidenhein та виконані розрахунки шпиндельного вузла в системі “Autodesk Inventor”.

Розроблено затискний патрон для обробки деталі «Кільце підшипника» на першому установі, який дозволяє за рахунок конструктивних особливостей оброблювати кільця підшипників великого діаметру, що розширює межі діаметрів оброблювання.

Ключові слова: верстат, патрон затискний, токарна обробка, кільце підшипника, двошпиндельний токарний верстат.

## ABSTRACT

Master thesis consists of the introduction, four sections, conclusions, the list of references. The main part consists of 105 pages and includes 6 tables and 73 illustrations.

**The object of the research** is the CNC machine Heidenhein. **The subject of the investigation** is the indicators of workability of the machine.

The practical recommendations are made to improve the characteristics of efficiency of the machine guideways.

In the Master thesis we designed the construction of spindle assembly of two-spindle vertical machine with a CNC for total complex machining the detail “Bearing ring”, analyzed the structure of machine rolling guides and suggested their replacement for the slide guides.

The results of our research justify the possibility and the conditions of using the sliding guides at low speed movement.

The system of CNC machine is suggested to be changed into Heidenhein 640. We developed the management program to the lathe machining of the detail “Spindle” in in the software environment Heidenhein and made calculations of the spindle assembly in the system “Autodesk Inventor”.

Also we developed the clamping cartridge for machining the detail “Bearing ring” at the first stage, which allows at the expense of design features the machining of the large diameter bearing rings expanding the diameter limits of the machining.

Key words: stick-slip, clamping cartridge, lathe machining, bearing ring, two-spindle lathe.

## АННОТАЦИЯ

Магистерская диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы. Основной текст состоит из 105 страниц, включает в себя 6 таблиц и 73 рисунков.

**Объектом исследования** является станок с ЧПУ ПАБ-350.  
**Предметом исследования** являются показатели работоспособности станка.

Даны практические рекомендации по улучшению характеристик работоспособности металлорежущих станков.

В магистерской диссертации разработана конструкция шпиндельного узла двухшпиндельных вертикального станка с ЧПУ для полной комплексной обработки детали «Кольцо подшипника», проанализированы конструкции направляющих качения станка и предложена их замена на направляющие скольжения.

Результаты работы обосновывают возможность и условия использования направляющих скольжения при малых скоростях перемещения.

Предложено заменить систему ЧПУ на Heidenhein 640. Разработано управляющую программу токарной обработки детали «Шпиндель» в программной среде Heidenhein и выполнены расчеты шпиндельного узла в системе "Autodesk Inventor".

Разработан патрон для обработки детали «Кольцо подшипника» на первом учреждении, который позволяет за счет конструктивных особенностей обрабатывать кольца подшипников большого диаметра, расширяет границы диаметров обработки.

Ключевые слова: станок, патрон зажимной, токарная обработка, кольцо подшипника, двухшпиндельный токарный станок.



## Зміст

Вступ.....	7
1. Огляд та аналіз компоновок і технічних характеристик верстатів, аналогічних верстату, що проектується.....	10
1.1. Токарний двошпindelний вертикальний напівавтомат СМ1736ФЗ.....	10
1.2. Вертикальний токарний верстат з ЧПУ серії VT30.....	13
1.3. Двошпindelний токарний верстат з ЧПУ VL 5 DUO.....	19
1.4. Двошпindelний токарний верстат з ЧПУ ВК202S.....	21
1.5. Токарний горизонтальний верстат з ЧПУ 160НТ високої точності.....	23
1.6. Опис вертикального двошпindelного токарного верстату з ЧПК ПАБ-350.....	25
1.6.1. Основні характеристики верстату.....	25
1.6.2. Приводи переміщень верстата.....	33
1.6.3. Характеристика електроустаткування.....	35
1.6.4. Опис деталі-представника «Кільце підшипника».....	36
1.6.5. Модернізація коробки швидкостей.....	40
2. Конструкторський розділ.....	44
2.1. Розрахунок шпindelного вузла.....	44
2.1.1. Обґрунтування діаметра передньої шийки шпинделя, міжопорної відстані вильоту переднього кінця.....	44
2.1.2. Розрахунок максимального режиму різання.....	50
2.1.3. Розрахунок жорсткості (податливості) опор.....	51
2.1.4. Визначення радіальної жорсткості шпindelного вузла.....	55
2.2. Розрахунок прямокутних напрямних ковзання.....	58
2.2.1. Порівняння напрямних ковзання і кочення.....	59
2.2.2. Визначення навантажень на напрямні.....	61
2.2.3. Визначення середніх тисків на грані напрямних.....	66
2.2.4. Визначення максимальних тисків на грані напрямних.....	68
2.2.5. Розрахунок величини стрибків при використанні запропонованих напрямних.....	70
2.3. Розробка патрону для обробки кілець підшипників.....	72
2.3.1. Розрахунок затискного патрону.....	73
3. Розробка керуючої програми обробки деталі «Шпindel».....	78
3.1. Складання програми обробки.....	78
3.1.1. Призначення матеріалу та налаштування інструментів в револьверній голівці.....	79
3.1.2. Заготовка та готова деталь.....	80
3.1.3. Оброблення заготовки.....	82
3.2. Результат програмування.....	97
4. Моделювання і розрахунок вихідного вала за допомогою INVENTOR.....	104
Висновки.....	109

Література .....	110
------------------	-----

## Вступ

На машинобудівному ринку основним видом продукції стали верстати з числовим програмним управлінням. Це сучасні машини, які спрощують роботу оператора та роблять її більш ефективною, збільшуючи при цьому показники обробки промислових деталей.

Саме використання таких верстатів дозволяє автоматизувати виробничий процес і є невід'ємним чинником у скороченні затрат робочого часу на виконання допоміжних операцій, оскільки з'являється можливість швидкого переналагоджування на обробку будь-якої деталі. До прикладу, найбільше таких затрат у серійному виробництві, де випускається до 80% загальної продукції.

Завдяки верстатам з ЧПК знижується собівартість продукції та підвищується якість обробки форми заготовок.

Метою магістерської дисертації є підвищення показників працездатності токарного вертикального верстата з числовим програмним керуванням.

Працездатність верстатів оцінюється у відповідності до стандартів та норм і полягає у можливості виконувати задані функції (у разі поломок, заклинювання тощо або у перевищуванні певними параметрами заданих меж.

Металорізальне обладнання має призначенням виконання процесу різання, тому до верстата в цілому та до його окремих вузлів пред'являють вимоги, виконання яких забезпечить працездатність верстата: жорсткість та вібростійкість, тривале забезпечення точності, теплостійкість; надійність, задовільні шумові характеристики, безпечна експлуатація МРВ.

До переваг сучасних верстатів відноситься висока працездатність та точність при обробці з великими силами різання, що забезпечується такими критеріями як моніторинг процесу обробки, використання вимірювальних систем в реальному часі, підвищення точності переміщень [20].

Сучасні верстати з ЧПК відрізняються підвищеною надійністю і жорсткістю, швидкодією робочих органів і точністю роботи. В них успішно застосовуються гідравлічні і електромеханічні приводи. Ці верстати

комплектуються оснащенням для автоматичної зміни інструменту і пристроями для цифрової індикації дій виконавчих органів. Однак при обробці деталей з великими силами різання знижується вібростійкість верстата.

Тому дослідження чинників, які впливають на підвищення працездатності, гнучкості і точності обробки, розробка нових компонувань токарного автомата є актуальною темою.

Для розкриття теми в роботі необхідно виконати наступні завдання: змінити конструкцію шпиндельного вузла, яка дозволила б знизити динамічні коливання, які виникають в зубчастих зачепленнях, підвищити жорсткість шпиндельного вузла; підвищити вібростійкість напрямних супортів; підвищити точність обробки типової деталі.

Графічна частина дипломного проекту містить листи:

1. Верстат ПАБ-350. Загальний вигляд
2. Кінематична схема. Загальний вигляд
3. Супорт правий. Складальний кресленик
4. Бабка шпиндельна. Складальний кресленик
5. Патрон затискний. Складальний кресленик
6. Огляд верстатів токарної групи
7. Моделювання і розрахунок вихідного вала за допомогою INVENTOR
8. Програма обробки деталі «Шпиндель» в середовищі Heidenhein

В процесі роботи над дисертаційною роботою зроблені наступні публікації:

1. Конструктивні особливості систем вимірювання інструментів на верстатах з ЧПК. О. Р. Артеменко, Я. М. Колода, В. А. Ковальов. «Інновації молоді в машинобудуванні 2019», Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених та студентів, 31.05. 2019 р.
2. Об'єкти права інтелектуальної власності в корупційних схемах. Колода Я. М., Ромашко А. С. Створення, охорона, захист і комерціалізація об'єктів

права інтелектуальної власності: Матеріали науково-практичні  
конференції, 26.04.2019 р.

## **1. Огляд та аналіз компоновок і технічних характеристик верстатів, аналогічних верстату, що проектується**

У сучасній промисловості випускається багато конструкцій токарних верстатів з ЧПК. Їх удосконалення відбувається по таких критеріях як підвищення комплексності обробки (здійснення кількох операцій – токарних, фрезерних тощо), автоматизації допоміжних операцій (заміна заготовок, інструментів, пристосувань), можливість двосторонньої обробки, модульна конструкція, можливість стикування з ЧПК. Далі наведені та проаналізовані конструкції типових представників даного класу верстатів.

### **1.1. Токарний двошпindelний вертикальний напівавтомат СМ1736ФЗ**

Токарний вертикальний верстат з ЧПУ СМ1736ФЗ [1] призначений для чорнової і чистової токарної обробки в патроні зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталей з прямолінійними і криволінійними утворюваннями (дисків, ступиць, чашок, флянців, шестерень, маховиків і т.п.) в кілька проходів; точіння зовнішньої і внутрішньої різьби, спіралей на торці. Найбільший діаметр встановлюваної деталі - 500 мм. Номінальний діаметр оброблюваної деталі - 320 мм. Маса верстата: 16000 кг.



Рисунок 1.1. Токарний двошпindelний вертикальний напівавтомат  
СМ1736ФЗ[1]

Верстат має вертикально розташований шпиндель, що дає такі переваги, як:

- доступна і ергономічна робоча зона для ручного завантаження і зміни інструменту;
- зручний затиск оброблюваної деталі;
- відсутність прогину робочого шпинделя під дією власної ваги, ваги оброблюваної деталі і затискного патрона;
- зручна завантаження і розвантаження важких заготовок за допомогою цехових засобів малої механізації завдяки розведеним під  $120^\circ$  по горизонталі супортам і відсутності зверху над патроном при розкритих дверях елементів огорожі;
- займає невелику площу;
- низькі витрати на установку (не потрібен спеціальний фундамент);
- висока точність завдяки вертикальному шпинделю, жорсткої термосиметричної конструкції верстата, автоматичній системі змащення, розташуванню напрямних поза зоною сходу стружки, окремо розташованих джерел тепла (гідростанція і електрошафи).

Висока продуктивність верстата забезпечується:

- паралельним використанням двох вільно програмованих хрестових супортів з чотирьох позиційними револьверними головками і високодинамічними приводами подач з шарико-гвинтовими передачами;
- безступінчатим головним приводом від потужного асинхронного електродвигуна з частотним регулюванням;
- шпиндельної бабкою з автоматичним перемиканням в циклі (за програмою) передшпиндельного блоку, що забезпечує два діапазони силових характеристик;
- орієнтованою зупинкою шпинделя для зручної завантаження асиметричних деталей;
- можливістю оперативного переходу з обробки однієї деталі на іншу;
- наявністю приладу для настройки інструменту поза верстатом.

Автономність верстата забезпечується наявністю:

- власної системи МОР;
- двох шнекових стружководвода, здатних відводити із зони різання великий обсяг стружки, що утворюється при обробці пластичних легованих сталей;
- системи відділення МОР від стружки.

Таблиця 1.1.

### Технічні характеристики СМ1736Ф3

Параметр	Значення
Клас точності станка по ГОСТ-8-82	П
Найбільший діаметр встановленої деталі	500 мм
Номінальний діаметр оброблюваної деталі	320 мм
Кількість шпинделів	2 шт
Відстань між шпинделями	530 мм
Значення конуса шпинделя за ГОСТ 12595-72	11
Діаметр шпинделя в передній опорі	160 мм
Частота обертання шпинделя	0 ... +1700 об / хв
Найбільший крутний момент на шпинделі	1100 Нм
Відстань від низу основи напівавтомата до базового торця шпинделя	1000 мм
Кількість незалежно працюючих хрестових супорта	2 шт
Найбільша робоча переміщення супортів	
- у вертикальному напрямку	600 мм
- в горизонтальному напрямку	330 мм
Швидкість швидких переміщень супортів	15 м / хв
Найбільше зусилля подачі	
- у вертикальному напрямку	20 000 Н
- в горизонтальному напрямку	20 000 Н



Параметр	Значення
кількість - револьверних головок - позицій кожної револьверної головки - інструментальних місць на кожній револьверної голівці,	2 шт 4 шт 8 шт
Найбільший перетин різців	32 мм
Пристрій прибирання стружки	Два двухшнекових стружководводи
Система МОР	автономна
Привід головного руху (асинхронні двигуни з частотним регулювання) -потужність (в режимі S1 на один шпиндель) -номінальна частота обертання електродвигуна - максимальна частота обертання	27,7 кВт  1 000 об / хв 6 000 об / хв
Пристрій ЧПУ і приводу	ф."MITSUBISHI ELECTRIC" або ф. "SIEMENS"
Кількість одночасно керованих осей координат	6
Маса	16 000 кг

Токарний вертикальний верстат з ЧПУ CM1736Ф3 розроблений для оснащення підприємств машинобудування, забезпечує одночасну обробку двома супортами з 2 револьверними головками по 12 інструментів. Виробником є Мінський завод автоматичних ліній ім. П. Машерова (Мінськ, Білорусь).

## 1.2. Вертикальний токарний верстат з ЧПУ серії VT30

Вертикальні токарні верстати серії VT [2] призначені для токарної обробки деталей складної конфігурації з жароміцних і легованих сплавів. На верстатах цієї серії можна обточувати і розточувати поверхні з криволінійними і

прямолінійними утворюючими, свердлими, зенкерувати, розгортати центральні отвори, розрізати кільцеві канавки, нарізати різні різьби різцями. Дані верстати застосовуються в усіх галузях машинобудівної, автомобільної та металургійної промисловості для обробки заготовок з великими габаритами і вагою з розширеними можливостями токарної обробки.

Відмінними особливостями верстатів серії VT є вертикальне розташування шпинделя дозволяє обробляти габаритні заготовки з великою масою, при цьому верстати займають мінімальну виробничу площу.

Верстати мають суцільно литу колону збільшеного перетину з широко рознесеними напрямними має підвищену жорсткість і вібростійкість.

Посилена конструкція шпинделя A2-8, A2-11, A2-15 дозволяє обробляти високолеговані сталі на підвищених режимах різання з великими припусками без втрати точності і якості поверхні.

Потужні компоненти станини верстатів відлиті з високоміцного конструкційного чавуну, а індукційне загартування напрямних забезпечує міцність не нижче - 50 HRC. Спеціальне зносостійке TFS антифрикційне покриття салазок супорта довго зберігає плавність і точність робочих ходів верстата.

Яскравий представник даної серії верстатів - токарний вертикальний верстат з ЧПУ VT-30 - оптимально виконує завдання по обробці важких дисків, втулок, коротких валів і подібних виробів, які стоять на серійному виробництві.

Сервопривід шпинделя через редуктор BARUFFALDI CE13, який перемикається, дозволяє досягти миттєвої характеристики обертання шпинделя в 1324 Нм. Гідрокомпенсатор по осі Z зменшує навантаження на ШВП і підшипники. Потужний електромеханічний різцетримач на 6 позицій дозволяє використовувати розточувальні оправки і борштанги з великим вильотом різця. Система подачі MOP високого тиску змиває велику металеву стружку і допомагає видалити стружку з глухих отворів.



Рисунок 1.2. Вертикальний токарний верстат з ЧПУ серії VT30 [2]

Зручна, продумана компоновка вузлів верстата в сукупності з гідравлічним патроном істотно полегшує роботу оператора по зняттю / установці оброблюваних деталей. Змив стружки з робочої зони і її відведення за допомогою керованого конвеєра спрощує процес обслуговування. Програмована автоматична централізована станція мастила рухомих частин верстата продовжує термін служби обладнання. Компактна, продумана конструкція верстата мінімізує займану виробничу площу. Токарний верстат VT-30 оснащений системою ЧПУ Fanuc 0i-TD, що поєднує в собі сучасні технології в частині управління процесом обробки, безпеки експлуатації, діагностування несправностей устаткування. Панель управління верстатом з жк-дисплеєм дає повний контроль процесу експлуатації верстата. Надійні компоненти електричної схеми верстата і примусове охолодження електрошафи дозволяє безперебійну роботу верстата в найбільш навантажених умовах серійного виробництва. Додаткова система контролю аварійних ситуацій PILZ PNOZ дозволяє підвищити безпеку експлуатації верстата.

Особливостями роботи даного обладнання є: висока швидкість, якість і точність різу, енергоефективність поряд з високою потужністю. Експлуатація верстата надає низькі вібро і шумову навантаження на виробниче оточення. Ці характеристики і можливі варіанти комплектації задовольняють вимогам сучасного серійного виробництва.

Нижче для порівняння наведені характеристики токарних верстатів серії VT.

Таблиця 2.2.

Характеристики токарних верстатів серії VT

Технічний параметр	VT-20	VT-30	VT-40
Максимальний діаметр точіння	450 мм	650 мм	800 мм
Діаметр робочого столу	450 мм	500 мм	630 мм
Максимальна висота обробки	500 мм	700 мм	800 мм
Швидкість шпинделя	50-2200 об/хв	50 – 1200 об/хв	50 – 1200 об/хв
Діаметр патрона	450 мм	500 мм	630 мм
Конус шпинделя	A2-8 тип	A2-11 тип	A2-15 тип
Діаметр переднього підшипника шпинделя	150 мм	180 мм	200 мм
Переміщення по осях X / Z	420/520 мм	720 / 720 мм	840 / 840 мм
Прискорена подача по осях X / Z	20/20 м/хв	12 / 16 м/хв	12 / 16 м/хв
Точність позиціонування по осях X / Z	0,035 / 0,040 мм	0,035 / 0,040 мм	0,035 / 0,040
Повторюваність точності позиціонування X / Z	0,0075 / 0,015 мм	0,0075 / 0,015 мм	0,0075 / 0,015
Число позицій різцетримача	6 (опція 8) мм	6 (опція 12) мм	6 (опція 12) мм
Перетин державки інструменту	32 x 32 мм	32 x 32 мм	32 x 32 мм

Технічний параметр	VT-20	VT-30	VT-40
Діаметр розточувальної оправки	50 / 40 / 32 мм	50 / 40 / 32 мм	60 / 50 / 40 мм
Потужність головного двигуна	18,5/22 кВт	22 / 26 кВт	37 / 45 кВт
Потужність двигуна по осі X	4,5 кВт	4 кВт	4 кВт
Потужність двигуна по осі Z	6 кВт	4 кВт	7 кВт
Габаритні розміри	3900x1940x3200 мм	4480x2440x3400 мм	5200x2920x3920 мм
Вага верстата	8000 кг	12000 кг	16000 кг

Конструктивною особливістю верстата серії VT-30 є використання сервошпинделя посиленої конструкції, привід здійснюється за допомогою шківа приводного ременя. Передній і задній підшипник - дворядний радіальний роликовий підшипник виробництва NSK (Японія).



Рисунок 1.3. Обробка дворядного радіального роликового підшипника [2]

Гідравлічний патрон збільшеного розміру встановлюється на передній частині шпинделя і призначений для кріплення заготовок більшого діаметра.



Рисунок 1.4. Гідравлічний патрон [2]

Подачі по осях  $X$  і  $Z$  здійснюються за допомогою серводвигунів по високоточним роликовим ШВП. Використання роликових напрямних значно підвищує точність і скорочує час переміщень. На осі  $Z$  встановлений балансує гідроциліндр, який сприймає навантаження від маси каретки, повзуна і різцетримача, тим самим подовжує ресурс ШВП і підвищує точність обробки.



Рисунок 1.5. Балансуючий гідроциліндр [2]

Револьверна головка розроблена спеціально для екстремально жорсткого точіння, що обумовлено її габаритами і технічними параметрами. Можливо оснастити верстат різними типами револьверних головок 6-ти позиційної

револьверної головкою з горизонтальною віссю обертання, 8-ми позиційній револьверної головкою з вертикальною віссю обертання, револьверній головкою з приводним інструментом.



Рисунок 1.6. Револьверна головка

### 1.3. Двошпиндельний токарний верстат з ЧПУ VL 5 DUO



Рисунок 1.7. Двошпиндельний токарний верстат VL 5 DUO [3]

Особливістю даного верстату [3] є дзеркально розташована робоча зони, яка оснащена власними робочим шпинделем з потужністю 34,1 кВт і крутний момент 593 Нм (при тривалості включення 40%), достатніми для швидкої і точної обробки різанням. Крім того, кожна робоча зона оснащена інструментальною револьверною головкою на дванадцять інструментів (на вибір

інтерфейс VDI 40 / BMT 55), яка крім токарних інструментів може бути оснащена приводними інструментами(шліфування і віссю Y.

Станина двошпindelних токарного верстата VL 5 DUO вилита з матеріалу MINERALIT® - полімерного бетону з оптимальними віброгасильними властивостями. У цій станини максимально стійко змонтовані всі виробничі вузли, такі як шпindel і інструментальна револьверна головка. Крім того, верстат оснащений напрямними кочення з циркуляцією роликів розміру 45 і системою безпосереднього вимірювання шляху на всіх лінійних осях. Це гарантує високу точність позиціонування, відтворюваності і безперервної обробки VL 5 DUO. При необхідності в верстат можна також вбудувати вимірювальний щуп, що дозволяє швидко виміряти параметри деталі між завантаженням і розвантаженням.

Таблиця 3.1.

#### Технічні характеристики верстата VL 5 DUO

Макс. діаметр деталі	250 мм
Макс. діаметр патрона	315 мм
Макс. довжина деталі	175 мм
Переміщення по осі X	± 750 мм ± 29.5 мм
Переміщення по осі Y (optional)	± 30 мм ± 1 мм
Переміщення по осі Z	± 350 мм ± 14 мм
Головний шпindel: потужність при ПВ at 40% / 100%	34.1 / 28.9 кВт
Головний шпindel: крутний момент при ПВ 40% / 100%	593 / 501 Нм
Головний шпindel: макс.швидкість	4,5001/хв

Перевагою є потужний мотор-шпindel з водяним охолодженням з числом оборотів 4 500 об / хв, потужністю 34,1 кВт і крутний момент 593 Нм при тривалості включення 40%;

Висока точність систем безпосереднього вимірювання шляху (скляні лінійки) на всіх лінійних осях для максимальної точності в безперервному режимі;



Револьверна головка EMAG з водяним охолодженням для високої температурної стійкості і гранично швидкого обертання завдяки використанню моментного приводу.



Рисунок 1.8. Водяне охолодження револьверної головки [3]

TransLift виконує транспортування деталей, їх навантаження і розвантаження, а також забезпечує кантовку деталей між операціями.

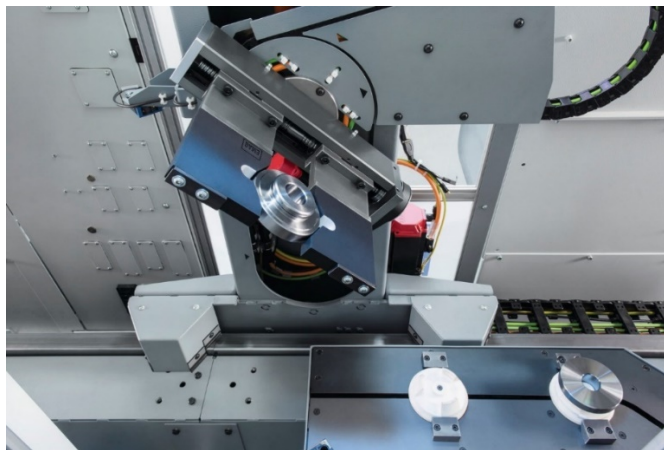


Рисунок 1.9. Розвантаження деталей за допомогою TransLift [3]

#### **1.4. Двошпиндельний токарний верстат з ЧПУ BK202S**

Паралельний двошпиндельний токарний верстат оснащений системою ЧПУ SINUERIK 840D (SIEMENS) [4]. Дана система може управляти обробкою і подачею на одному токарному верстаті. Можуть здійснюватися всі види точіння і свердління.

За допомогою двох шпинделів одночасно можуть оброблятися дві частини однієї заготовки, або синхронно дві різні заготовки. Даний верстат має функцію

автоматичного вимірювання і автоматичної корекції помилок. Направляючі витримують високі статичні навантаження, покращують стабільність і точність обробки. Даний токарний верстат має маніпулятор для захоплення і подачі деталей, що дозволяє вибудувати ланцюг з декількох токарних верстатів працюють без обслуговуючого персоналу.



Рисунок 1.10. Двошпиндельний токарний верстат з ЧПУ BK202S [4]

Таблиця 4.1.

Технічні характеристики верстата BK202S

Параметри	Значення
Кількість шпинделів	2 шт
Відстань між шпинделями	400 мм
Діаметр патрона	Ø165 мм
Число інструментальних місць	2x8
Кінець шпинделя	A2-5
Діаметр отвору шпинделя	Ø90 мм
Швидкість обертання шпинделя	50-5000 об / хв
Потужність приводу шпинделя	2x11 / 15 кВт (30 хвилин)
Найбільший діаметр обробки	Ø200 мм
Найбільша довжина обробки	100 мм
Режим обробки	1. Дві частини заготовки обробляються по черзі 2. Дві частини заготовки обробляються одночасно
Переміщення по Х	135 мм (лінійна направляюча)
Швидкість переміщення по осі	30 м / хв

Параметри	Значення
X	
Двигун осі X	3.5 кВт, 11 Нм
Переміщення по Z	170 мм (напрямна, що розподіляє статичний тиск)
Швидкість переміщення по осі Z	30 м / хв
Двигун осі Z	3.5 кВт, 11 Нм
Стабільність позиціонування	X: 0.007 мм, Y: 0.008 мм
Круглост	0.003 мм

### 1.5. Токарний горизонтальний верстат з ЧПУ 160НТ високої точності

Верстат моделі 160НТ [6] є горизонтальним токарний верстат високої точності з числовим програмним управлінням (ЧПУ). Призначений для високопродуктивної токарної обробки деталей типу "втулка", "штуцер", "фланець", "ніпель" з різних конструкційних матеріалів.

Верстат має фланцеве і пруткове виконання. Призначений для одиничного і дрібносерійного виробництва:

- верстат має достатню жорсткість для забезпечення необхідної точності обробки;
- компоновання вдала, відкриває зручний доступ до інструментів і органам управління;
- привід затиску патрона електромеханічний;
- перемикання редуктора головного приводу автоматичне.



Рисунок 1.11. Токарний горизонтальний верстат з ЧПУ 160НТ [6]

Таблиця 5.1.

Технічні характеристики верстата 160НТ

Параметри	Значення
Робоча зона	
Найбільший діаметр обробки	200 мм
Найбільша довжина обробки	120 мм
Найбільший діаметр прутка	40 мм
Діаметри токарних патронів	210 мм
Найбільший повздовжній хід ( Z )	250 мм
Найбільший поперечний хід (X)	200 мм
Шпиндель і головний привід	
Діапазон частот обертання шпинделя	
- патронний варіант	5 - 4000 об/хв
- прутковий варіант (цанговий патрон)	5 - 6000 об/хв
Найбільший крутний момент	
- патронний варіант	200 Нм
- прутковий варіант (цанговий патрон)	114 Нм
Переміщення	
Дискретність переміщень по осях	0,001 мм
Предельний робочий подачі, мм/мин	1-15000 мм/хв
Точність позиціонування по всім осям	$\pm 0,005$ мм
Повторюваність	0,002 мм
Характеристика револьверної головки	
Кількість позицій	8 шт
Час зміни інструмента	0,5 сек
Точність позиціонування	$\pm 4''$
Повторюваність позиціонування	$\pm 1,6''$
Характеристика електрообладнання	

Параметри	Значення
Мощность привода главного движения, кВт	12 кВт
Суммарная мощность электродвигунів	19,3 кВт
Система ЧПУ	SIEMENS SINUMERIK 802D sl
Прочие характеристики	
Габаритні розміри	
- патронний варіант	2720x2440x2080 мм
- прутковий варіант (цанговий патрон)	3255x2440x2080мм
Маса	5 кг

## **1.6. Опис вертикального двошпиндельного токарного верстату з ЧПК ПАБ-350**

### **1.6.1. Основні характеристики верстату**

ПАБ 350 це верстат, який використовується на виробництвах від дрібної до масової серійності [7]. Він використовується для оброблення деталей різного типу: кілець чи фланців з штучних заготовок та відзначається високою надійністю і точністю.

Верстат ПАБ-350 має вертикальне компонування і дає змогу оператору мати безпосередній та постійний доступ до зони обробки. Система управління верстата побудована таким чином, що забезпечує потрібне обертання двох шпинделів по осях C1, C2, їх переміщення по осях X1, X2 і Z1, Z2. Завдяки такій системі управління на верстаті можна впроваджувати режими різання за використанням ріжучих інструментів світових виробників (TL TECHNOLOGY, ZCC Cutting Tools Europe GmbH, Starki Industry) з одночасним дробленням стружки, а також вводити корекцію інструменту на обох шпинделях незалежно.





Рисунок 1.12. Зовнішній вигляд вертикального двошпindelного токарного верстата з ЧПК ПАБ-350 [7]

На верстаті моделі ПАБ-350 встановлюються комплектуючі відомих міжнародних виробників: система числового програмного керування Siemens Sinumerik 840DI, цифрові приводу Simovert і Simodrive 611UE, електрообладнання Schneider, пневматика Camozzi, Festo, напрямних кочення Bosch Rexroth.

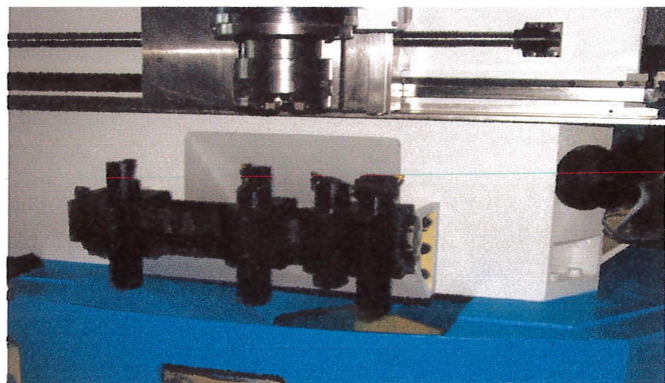
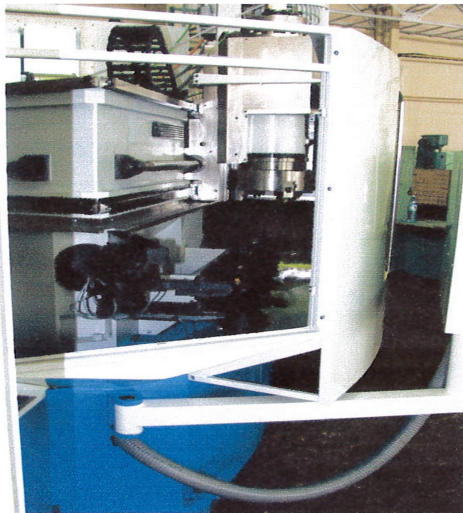


Рисунок 1.13. Робоча зона верстата

Загальний вигляд верстата представлений на кресленні (рисунок 1.12-1.14.). У своїй конструкції верстат має коробчасту компакту литу станину з високоякісного чавуну 1 з поперечними і подовжніми стінками, що формують функціональні відсіки. На верхній поверхні станини 1 вмонтовується підставка,

на якій жорстко закріплені траверси 4 та 5. У отворі станини встановлюється короб для видалення стружки 12, в який потрапляє стружка з двох робочих зон. Порожнини є резервуаром для охолоджувальної рідини.

Конструкція верстата досить вигідна в компонованні: наявна одночасна робота обидвох шпинделів, що дозволяє, наприклад, на першому шпинделі здвійснювати чорнову, а на іншому чистову обробку. Наявність пристрою перевероту деталі (кантувача) дозволяє здійснити повну обробку деталі з одного боку на одному шпинделі, передати деталь з переверотом на інший шпиндель лоток завантаження 10), де обробити її повністю з іншого боку. Кантувач має систему центрування деталей чи заготовок, яка дозволяє забезпечувати нульове значення биття як осьового, так і радіального. Це можливо при затиску, який здійснюється після перевероту і мінімізує биття одне відносно іншого.





довговічність. Поздовжні направляючі хрестових супортів (складаються з подовжніх і поперечних салазок) з шпindelними бабками і блоками інструменту вмонтовуються на правій траверсі 4 та лівій 5. На супортах 2 і 3 встановлюються шпindelні бабка з приводами головного руху. Перший супорт 2 має можливість виходу в зону вхідного лотка 10 для того, щоб взяти заготовку. В середині поперечного ходу супорта відбувається обробка деталей ріжучим інструментом, встановленим на інструментальному блоці 7. В кінці ходу супорт виходить в зону передачі обробленої деталі 11 в передавальний пристрій. Другий супорт 3 має можливість виходу в зону передавального пристрою для того, щоб взяти деталь після обробки на першому шпindelі. Після обробки деталь транспортується в зону вивантаження.

Привід шпинделя здійснюється від частотно регульованого асинхронного електродвигуна 9 через зубчасту передачу.

Передня опора шпинделя має триплекс радіально-упорних шарикопідшипників, задня опора - дуплекс таких же підшипників. При зборці порожнини підшипників заповнюються мастилом в кількості, достатній для всього терміну служби підшипників. Шпindelні підшипники не вимагають додаткового регулювання в процесі експлуатації.

Кінематична схема базового верстату представлена на рисунку 1.15.

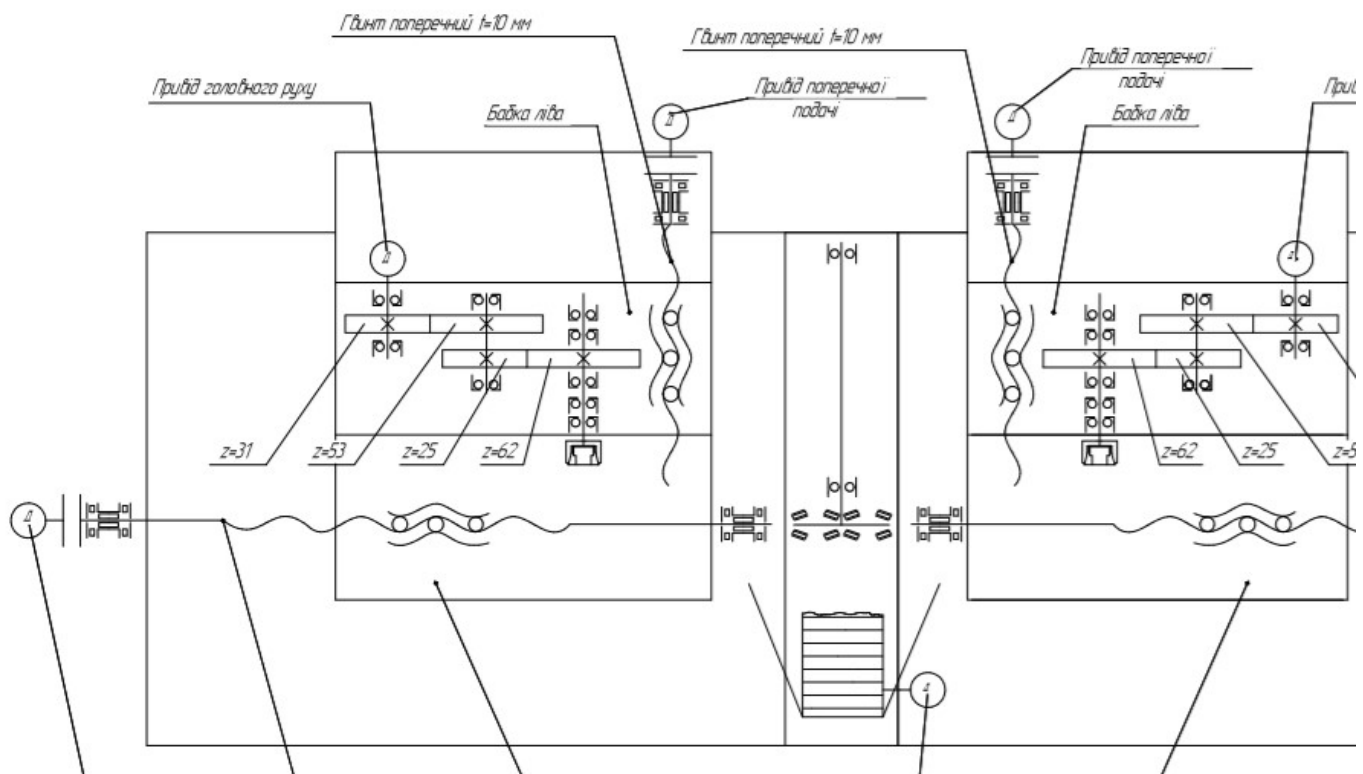


Рисунок 1.15. Кінематична схема базового верстату вертату

Таблиця 6.1.

Характеристики верстата ПАБ-350 (приведені на офіційному сайті виробника)

Параметри	Значення
Найбільший діаметр заготовки	375 мм
Найбільша довжина заготовки	200 мм
Найбільший хід супорта по осі X, не менше	1300 мм
Найбільший хід супорта по осі Z, не менше	250 мм
Дискретність завдання переміщень по осях	0.001 мм
Точність позиціонування	0.005 мм
Кількість керованих осей координат	4
Найбільша швидкість переміщення супорта:	
- по осі X (поперечна)	30 000 мм/хв
- по осі Z (подовжня)	15 000 мм/хв
Діапазон частот шпинделя	100-1000 об/хв
Потужність приводу головного руху	30 кВт
Кількість двигунів головного руху	2
Найбільший момент на шпинделі	660 Нм
Найбільше зусилля подачі:	
вісь X	6 000 Н
вісь Z	8 000
Габаритні розміри:	
Довжина	3 000 мм

Параметри	Значення
Ширина	3 000 мм
Висота	3 000 мм
Вага	8 000 Н
Найменування параметра	Дані
1. Граничний діаметр заготовки, закріпленої над станиною	375 мм
2. Граничний діаметр оброблюваної зовнішньої поверхні прутка	50 мм
3. Граничний діаметр оброблюваної зовнішньої поверхні у патроні	200 мм
4. Граничні значення (діаметр x крок) оброблюваних різьб	M3 0x3,5 мм
5. Найбільший переріз різців	25x25 мм
6. Найбільші розміри обертових інструментів	
6.1. Діаметр свердла	20
6.4. Мітчиків	M12
7. Кількість позицій інструмента револьверної голівки	12
8. Час перемикання револьверної голівки на одну позицію	2.0 с
9. Діаметр наскрізного отвору в шпинделя	70 мм
10. Позначення кінця шпинделя за ДСТ 12595-72	1- 6Ц
11. Граничні відстані від осі шпинделя до:	
- напрямні станини	250 мм
13. Дискретність завдання кругових переміщень шпинделя	
при датчику 2500 імпульсів	0,036 град
при датчику 9000 імпульсів	0,01 град
при датчику 9000 імпульсів	0,001 град
14. Межі частоти обертання інструментального шпинделя	20...2000 хв'1
15. Регулювання подач супортів і подачі шпинделя	безступін
16. Межі подач супортів	
1) у поздовжньому напрямку	3-6000 мм/хв
2) у поперечному напрямку	2-3000 мм/хв
17. Межі кругових подач шпинделя	3-2000 град/хв
18. Швидкість швидких переміщень супортів	
1) у поздовжньому напрямку	15 м/хв
2) у поперечному напрямку	10
19. Швидкість швидких кругових переміщень шпинделя	30 м/хв
14. Межі частоти обертання інструментального шпинделя	20...2000 хв'1
20. Регулювання частоти обертання шпинделя	безступін
21. Найбільший припустимий крутний момент на шпинделі	500 Н*м
22. Найбільший припустимий крутний момент на інструментальному шпинделі	40 Н*м
20. Регулювання частоти обертання шпинделя	безступін
23. Найбільше зусилля подачі:	
- у поздовжньому напрямку	8 кН

Параметри	Значення
- в поперечному напрямку	6 Н*м
24. Потужність приводів подач:	
- у поздовжньому напрямку	2 кВт
- в поперечному напрямку	2 кВт
- кругових подач шпинделя	2 кВт
25. Потужність приводу головного руху	30 кВт
26. Сумарна потужність установлених на верстаті двигунів	39,23 кВт
27. Габаритні розміри верстата з окремо розташованими агрегатами і окремо розташованим електроустаткуванням:	
- довжина	4500 мм
- ширина	3400 мм
- висота	3300 мм
28. Маса верстата не більше	8000 Н
23. Найбільше зусилля подачі, кН:	
- у поздовжньому напрямку	8 кН
- в поперечному напрямку	6 кН

Конструкція верстата і оснащення дозволяє скоротити переналагодження верстата до мінімуму, що дозволяє використовувати верстат як серійному так і в дрібносерійному виробництві.

Компонування верстата досить зручне та дозволяє здійснювати одночасну обробку на 2-х супортах (рисунки 1.14.)

Два супорти мають напрямки руху  $x_1$  та  $x_2$ , а також є можливість руху під кутом один відносно іншого. Максимального наближення вони мають при досягненні вершини кута.

Спершу в зону завантаження 10 (рисунки 1.14.) виходить перший супорт і бере заготовку. В середині його ходу здійснюється попереднє оброблення заготовки за допомогою інструмента з інструментального блоку. До лотків розвантаження попередньо обробленої деталі в передавальний пристрій 11 перший супорт потрапляє в кінці першого ходу.

На другий шпиндель оброблена деталь передається за допомогою провороту кантувача.

Другий супорт виходить з лотків розвантаження та бере деталь, попередньо оброблену шпинделем 8. Остаточне чистове оброблення відбувається

різцем, закріпленим в різцетримачі 7 (рисунок 1.14.) на середині ходу дурного шпинделя, рух якого відбувається поперечно. На етапі виходу в зону В кінці ходу другий супорт виходить в вихідний лоток 11 для того, щоб вивільнити готову деталь з зони оброблення.

### 1.6.2. Приводи переміщень верстата

Приводи головного руху базового верстата ПАБ-350 змонтовані в шпиндельних бабках на хрестових супортах. Хрестовий супорт переміщається по направляючих 2 і 3 (рисунок 1.16.)

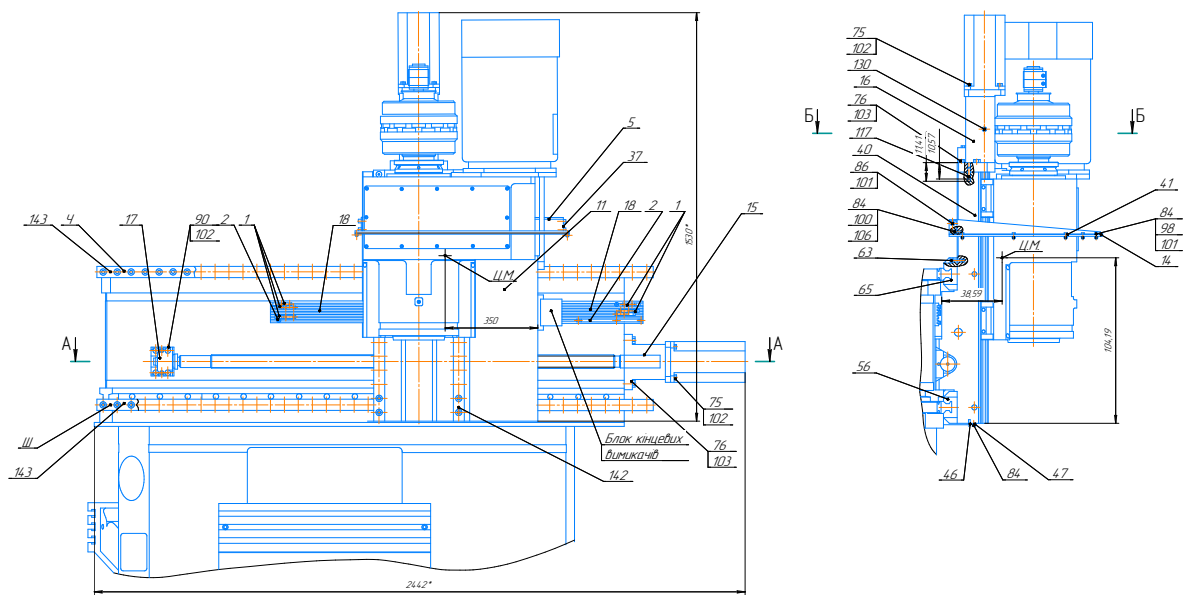


Рисунок 1.16. Загальний вигляд правого хрестового супорта верстата:  
вид збоку та вид спереду



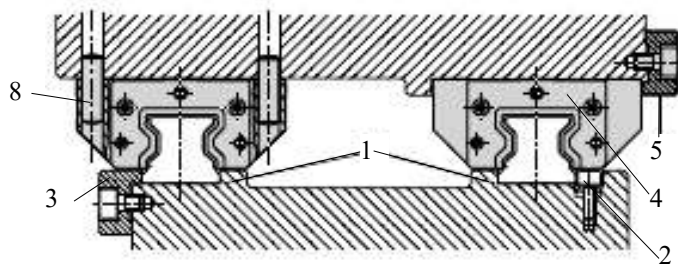


Рисунок 1.19. Встановлення напрямних і опор кочення супорта

Напрямні зафіксовано за допомогою гвинтів 2 та накладок 3. Одна із опор кочення 4 зафіксована накладкою 5, що придавлює її до упору 6. Після фіксації даної опори встановлюється опора 7, яка фіксується штифтами 8.

Привід вертикальний має відмінності порівняно з горизонтальним. Вертикальний привід переміщення має одну гвинтову опору (не дві як горизонтальний), а також допоміжний механізм урівноваження гравітаційних сил.

На супортах встановлено напрямні кочення виробництва SCHNEEBERGER, яким характерна підвищена точність та жорсткість.

### 1.6.3. Характеристика електроустаткування

На верстаті ПАБ-350 встановлено систему SINUMERIK-840DI з цифровими приводами осей і шпинделів, яка входить є складовою технології “CNC on PC” та є компактною по виконанню. Вона складається включає в себе блок живлення, обчислювальний блок, рідкокристалічний дисплей, клавіатуру і входів-виходів контролера. На зовнішній стороні процесора знаходиться роз’єм електроживлення (24 В постійного струму), клавіатури, польових шин стандарту PROFIBUS DP і MPIті послідовного інтерфейсу стандарту RS232C.

#### 1.6.4. Опис деталі-представника «Кільце підшипника»

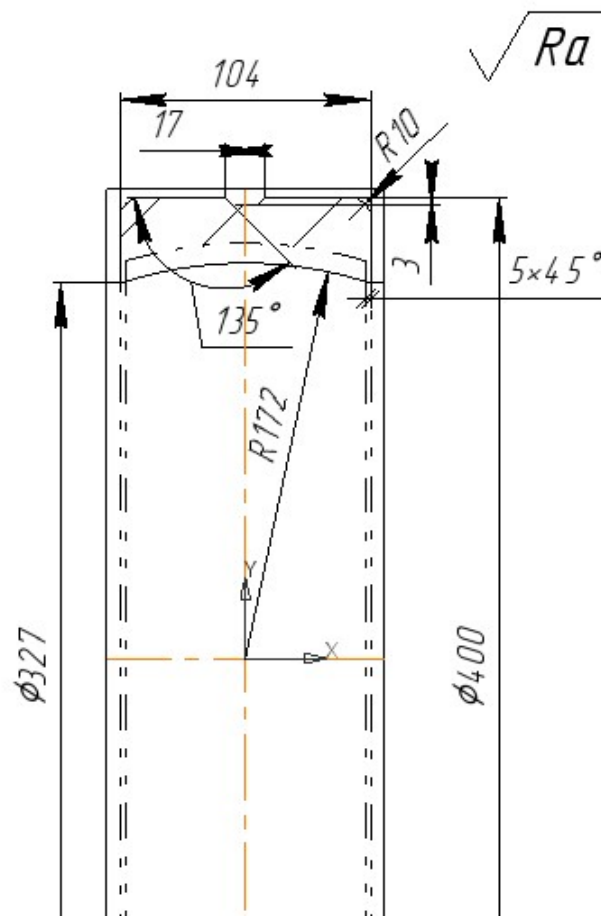


Рисунок 1.20. Типова деталь «Кільце підшипника», як оброблюється на верстаті

На верстаті ПАБ 350 будуть оброблюватися заготовки кілець виробу «Підшипник», що самоустанавливаються з циліндричним отвором внутрішнього кільця (рисунок 1.20), які мають два ряди роликів зі сферичною доріжкою кочення на зовнішньому кільці.

Модель 3532 ГОСТ 5721-75 (міжнародна версія 22232 CAW33 )– це роликовий сферичний дворядний підшипник (рисунок 1.21), конструкція якого передбачає максимально щільний контакт роликів з доріжками кочення, що автоматично вплинуло на вантажопідйомність і стійкість до перекосів, які стали значно вище.

Такі конструкції підшипників використовуються в вузлах, де можливе перекошування (відхилення) шпинделя до корпусу, що виникають під час його встановлення чи вигинання. Це роликові дворядні радіальні підшипники кочення,



яким характерні висока надійність та самоцентрування. Вони використовуються для великих радіальних та осьових навантажень, в умовах перекосу, а також для ударних чи вібраційних впливів.

Внутрішнє кільце роликового підшипника має 2 доріжки кочення, які розташовані під однакових кутом до його осі, на яких знаходяться ролики, зафіксовані сепаратором. Доріжка кочення зовнішнього кільця має сферичну форму, яка дозволяє роликам вільно котитися по ній та самовстановлюватися.

Навантаження, що сприймаються даним підшипником, стандартні: комбіновані або кожен напрямок окремо (слід враховувати, що осьові навантаження сприймаються з обмеженням). Латунний сепаратор позитивно впливає на максимальну робочу температуру підшипника, що в свою чергу має вплив на термін служби.

Область застосування - це важка промисловість (наприклад, опорний підшипник гребного валу, екскаватора, потужного компресора, вентилятора, насоса та інше), тому що агресивні умови експлуатації не дають особливого вибору для підшипників з інших категорій.

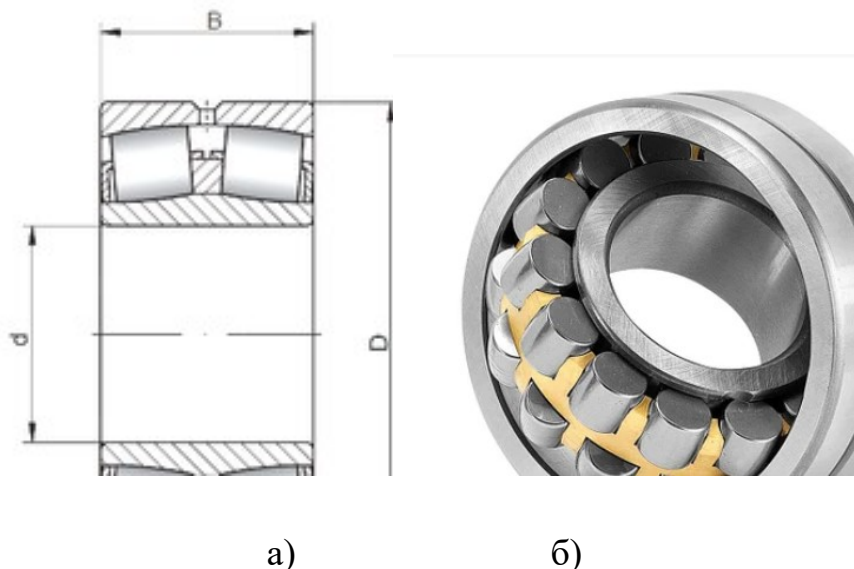


Рисунок 1.21. – Ескіз (а) та зовнішній вигляд (б) підшипника, що самоустановлюється

Технологічний процес виготовлення підшипника починається з виготовлення кілець підшипника.

Спочатку виготовляється вихідна заготовка по заданому діаметру підшипника (металевої труби або прута), відбувається обробка тиском і вальцювання вихідної заготовки (металевої труби або прута). Відбувається це за допомогою пропуску заготовки між двома обертовими валами (звідси термін - вальцювання). Далі відбувається токарна обробка заготовки - нарізка з заготовок окремих кілець і обробка всіх поверхонь з метою надання майбутньому кільцю підшипника потрібних діаметрів (зовнішнього і внутрішнього) і ширини, а також термічна обробка кілець підшипника - гартування (нагрівання до температури 850 градусів Цельсія і швидке охолодження в рідині). Вміст кілець відпускається при температурі 170 градусів. Зовнішні, внутрішні і бічні сторони проходять етап шліфування. І суперфінішування: доріжки кочення шліфуються до остаточного ступеня гладкості (залежно від вимог до їх шорсткості - позначається в номері підшипника літерою У, У1, У2).

Стадії виготовлення тіл кочення підшипника схожі на процес виготовлення кілець: зі сталевого дроту нарізаються заготовки і спеціальний прес їх стискає доки вони не отримаються форму кулі. Задля досягнення припуску в 100 мм проводиться обробка тиском. Аналогічно обробці кілець відбувається термічна обробка та шліфування. Після виріб полірується.

Для виготовлення сепараторів беруть сталевий лист та пробиваються в ньому отвори діаметрами тіл кочення. Далі йде етап чорнового та чистового штампування і заготовка отримує форму свердління отворів для закліпок та складання підшипника.

Для складання підшипника внутрішнє кільце вставляється в зовнішнє і між ними укладаються тіла кочення і в місцях закліпок встановлюється сепаратор і відбувається перевірка працездатності, маркування та змащування.

Кільця підшипників кочення є найбільш металомісткими і трудомісткими деталями в виробництві підшипників. Кільця підшипників повинні мати високі

опори пластичних деформацій в умовах контактних напружень, високої контактної витривалості і зносостійкості. Ці вимоги найбільш задовольняють поширені в виробництві підшипників хромисті сталі ШХ15, які відповідають спеціальним умовам, передбаченим ГОСТ 801-78.

На верстаті ПАБ350 завдяки використанню двох вертикальних шпинделів пропонується виконувати комплексну токарну обробку деталі «Кільце підшипника», яка буде включати обробку торця та фасонного отвору при установці заготовки в патрон першого шпинделя. Базування при цьому відбувається по зовнішній поверхні та торцю. Обробка заготовки з іншої сторони, а саме: торця та зовнішньої поверхні відбуватиметься при установці деталі в патроні другого шпинделя з базуванням по внутрішній поверхні та торцю.

В якості заготовки пропонується використати штамповану поковку. Спосіб отримання заготовки в нашому випадку є відмінним від стандартних технологічних процесів виготовлення типових деталей «Кільце підшипників» через великі габаритні розміри даної деталі та невеликі патрії виготовлення даних деталей.

Креслення заготовки та деталі представлені на рисунку 1.22.

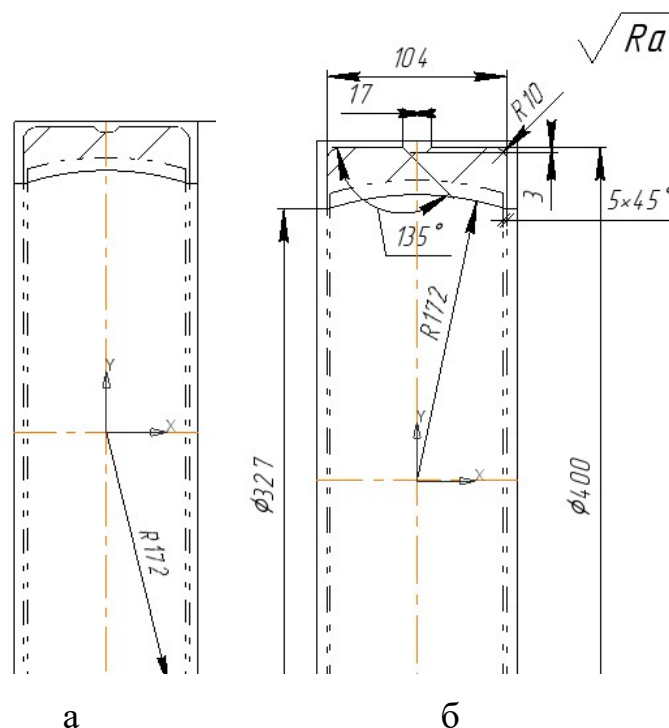


Рисунок 1.22. Креслення заготовки (а), креслення деталі (б) «Кільце підшипника»

Матеріал деталі «Кільце підшипника» - сталь ШХ15СГ ГОСТ 801\_78, використовується заготовка-поковка.

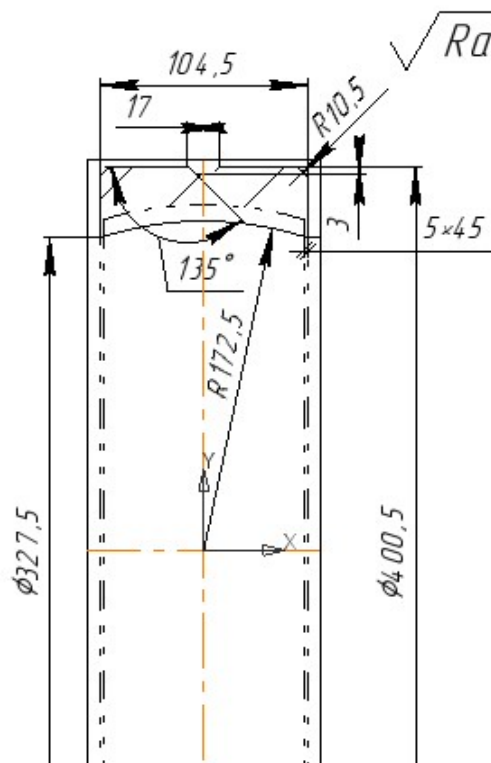


Рисунок 1.23. Креслення заготовки після токарної обробки на верстаті ПАБ350

### 1.6.5. Модернізація коробки швидкостей

Верстат ПАБ350 має дві ідентичні шпиндельні бабки (рисунок 1.24), які розташовуються відповідно на правому і лівому супортах.

Привод головного руху базового верстату складається з двохступінчастих зубчастих передач. Передача обертання від вала двигуна потужністю  $N=1,32$  кВт через муфту здійснюється на вал-шестерню 14 ( $z=31$ ). Вал 14 встановлено на підшипниках 2 та 3, які в свою чергу встановлено у втулку 4. Попередній натяг підшипників здійснюється гайкою 5.

Від вала-шестерні 14 обертання передається на колесо 21 ( $z=51$ ), яке встановлено на шліцевому валу 21. Вал 21 встановлюється на два роликові радіально-упорні підшипники 22 та 23. Натяг в підшипниках 22 та 23 регулюється гайкою 25. Далі обертання від валу 21 через зубчасте колесо 27 ( $z=25$ ), передається на колесо 28 ( $z=62$ ), яке безпосередньо розміщено на шпинделі верстата 29.

Шпиндель верстата 29 встановлений на радіально-упорних підшипниках за схемою «триплекс» в передній опорі, задня опора 3 - дуплекс таких же підшипників.

До верхнього кінця шпинделя приєднано пневмоциліндр, який здійснює затиск заготовки в патроні верстата.

Зображення шпиндельної бабки представлено на рисунку 1.24.

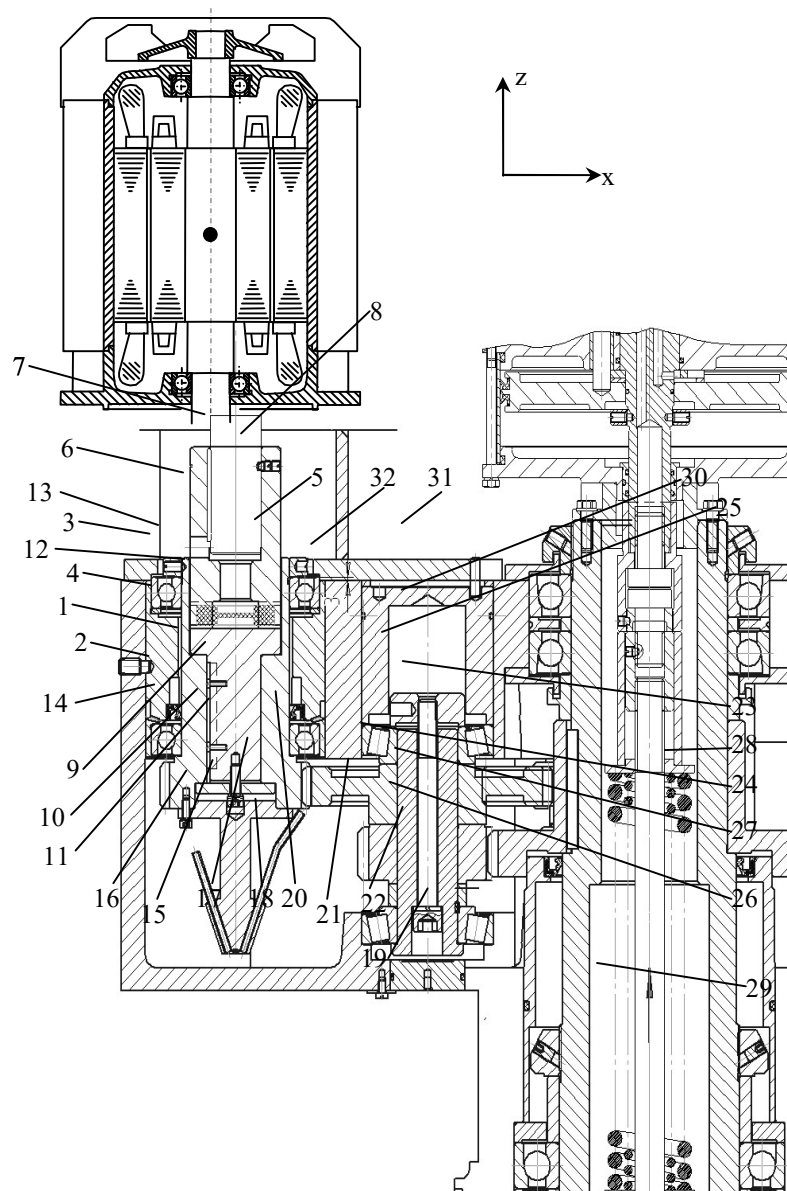


Рисунок 1.24. Бабка шпиндельна базового вертата ПАБ350

В якості модернізації приводу головного руху пропоную замінити двоступінчасту зубчасту передачу на зубчасто-пасову передачі. Завдяки цим діям зменшаться динамічні коливання в приводі головного руху. [16].

При цьому з конструкції будуть вилучені зубчасті передачі та проміжний вал 21. На кінці шпинделя буде встановлено шків зубчасто-пасової передачі, за допомогою якої буде відбуватися передача крутного моменту з двигуна. Крім того, пропоную замінити підшипники, що встановлені на шпинделі на відповідні радіально-упорні підшипники фірми FAG, які мають підвищену жорсткість та точність. Це підвищить параметри працездатності верстата.

Конструкція удосконаленої коробки швидкостей представлена на кресленні МВ-8105.мп.МД.166.000.СК, а конструкція шпиндельного вузла на рисунку 1.25.

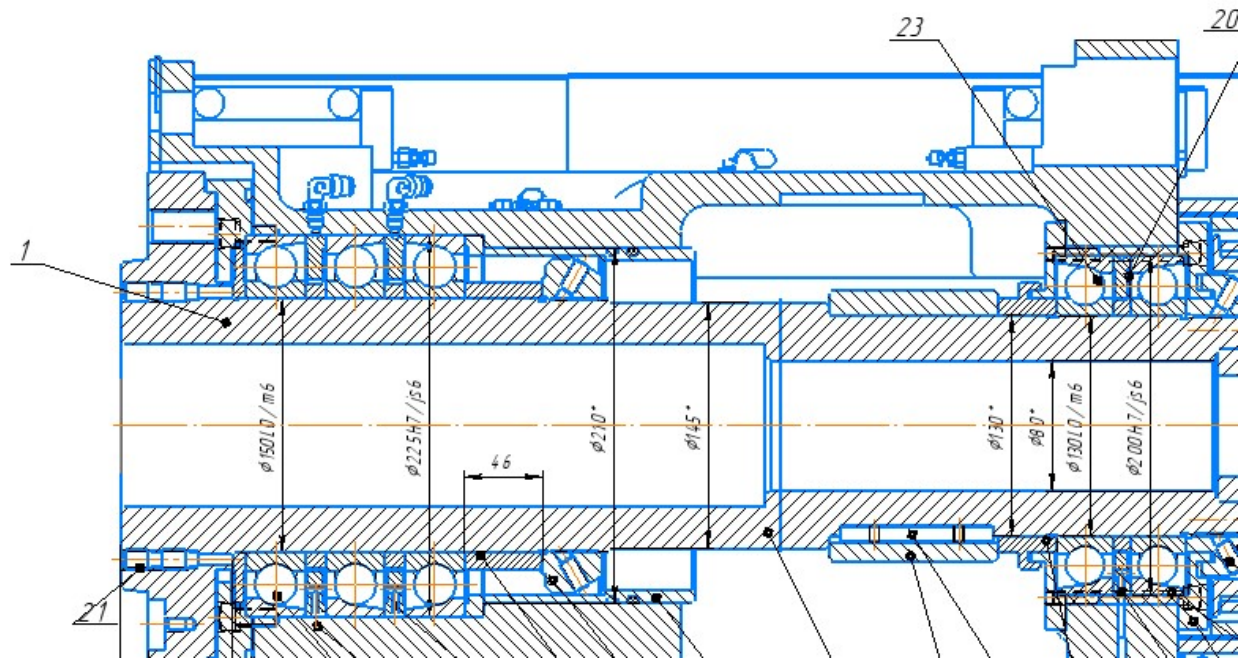


Рисунок 1.25. Бабка шпиндельна удосконаленого вертата ПАБ350

Кінематична схема нового верстату зображена на рисунку 1.26

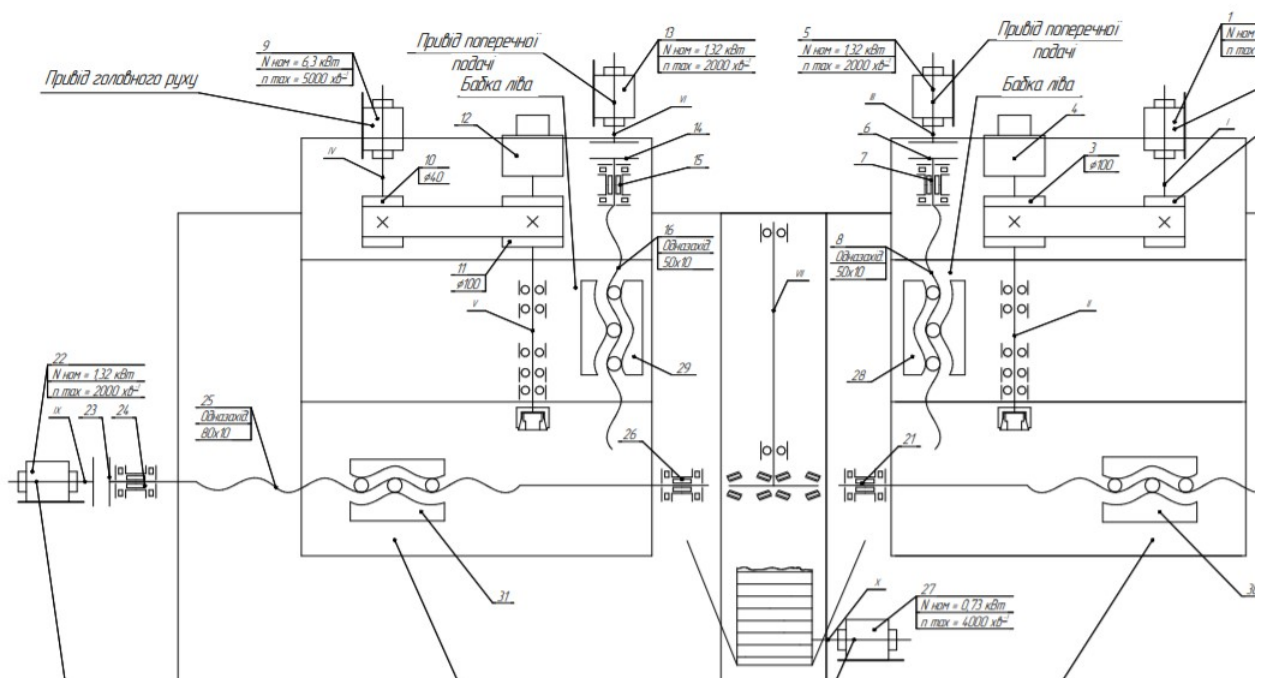


Рисунок 1.26. Кінематична схема нового верстату

## **2. Конструкторський розділ**

### **2.1. Розрахунок шпиндельного вузла**

До шпиндельних вузлів металорізальних верстатів пред'являють такі вимоги, які повинні виконуватися протягом необхідного періоду служби і забезпечують необхідну точність верстата.

- 1) точність обертання, що вимірюється биттям в радіальному чи осьовому напрямках переднього кінця шпинделя;
- 2) твердість, що обумовлюється пружними переміщеннями переднього кінця шпинделя, радіальна й осьова твердість шпиндельного вузла;
- 3) вібростійкість;
- 4) довговічність, яка пов'язана з довговічністю передньої та задньої опор;
- 5) обмеження тепловиділення і температурних деформацій, що суттєво впливають на точність обробки.

#### **2.1.1. Обґрунтування діаметра передньої шийки шпинделя, міжопорної відстані вильоту переднього кінця**

Шпиндельний вузол верстата складається з передньої та задньої опор та власне шпинделя та приводного елемента. На передньому кінці шпинделя встановлюються різальні інструменти, а його жорсткість залежить від діаметра, міжопорної відстані та довжини консолі.





<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Увеличение быстроходности</div> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Уменьшение жесткости</div> <div style="margin: 0 10px;">↑ ↓</div> </div>	№	Тип	Схема	$d \cdot 10^5$ мм·мин <sup>-1</sup>	C
	1	Низкоскоростные		1...1,4	0,65...0,75
	2			1,5...1,8	0,45...0,65
	3			1,6...2	0,3...0,45
	4	Среднескоростные		2,5...3,5	0,3...0,45
	5			3...4,5	0,2...0,3
	6			4...5	0,15...0,2
	7	Высокоск.		5...6	0,1...0,15
	8			6...8	0,05...0,1

Рисунок 2.2. Спрощенна схема установки підшипників в шпиндельному вузлі

Визначаємо діаметр передньої шийки шпинделя під розмір отвору переднього підшипника:

$$d = \frac{k}{n_{max}},$$

де  $k$  - характеристика швидкохідності, для даної схеми  $k$  задається діапазоном  $(4 \dots 5) \cdot 10^5$  мм · хв<sup>-1</sup>;  $n_{max} = 3000$  хв<sup>-1</sup> (за завданням) - максимальна частота обертання шпинделя,  $k$  приймаємо за 4,5.

Тоді:

$$d = \frac{(3,0 \dots 4,5) \cdot 10^5}{3000} = 104 \dots 155 \text{ мм}$$

Приймаємо  $d = 150$  мм

Тобто, даний шпindelь придатний для забезпечення параметру швидкохідності  $4,5 \cdot 10^5 \text{ мм} \cdot \text{хв}^{-1}$  при посадочному діаметрі під підшипники 150 мм.

Визначимо міжопорну відстань: верхнє можливе значення визначається довжиною шпindelьної бабки, нижнє - умовами розміщення на шпindelі необхідних пристроїв, в тому числі приводного елемента, а також сильним впливом відстані  $l$  на передачу биття підшипників на передній кінець шпindelя.

Тоді за критерієм биття переднього кінця шпindelя міжопорна відстань дорівнює:

$$l = (2.5 \dots 3.5) \cdot d_n = (2.5 \dots 3.5) \cdot 150 = 375 \dots 525 \text{ мм.}$$

Тоді, виходячи з вище перерахованих вимог і конструкторських міркувань приймаємо попередньо міжопорну відстань рівну  $l = 432 \text{ мм}$ . Тобто компоновання шпindelьного вузла даного верстату відповідає співвідношенню для міжопорної відстані.

У передній опорі в базовому верстаті встановлено три шарики радіально-упорні нероз'ємні однорядні підшипники зі скосом на зовнішньому кільці та кутом контакту  $\alpha = 12^\circ$  типу 36116, з внутрішнім діаметром  $d = 150 \text{ мм}$  та зовнішнім  $D = 225 \text{ мм}$  і шириною  $b = 35 \text{ мм}$  за схемою триплекс, показаною на рисунку 2.3. Динамічна та статична вантажопідйомність складають 127 кН та 103 кН відповідно.

У задній опорі знаходяться два підшипники, шарики радіально-упорні нероз'ємні однорядні зі скосом на зовнішньому кільці та кутом контакту  $\alpha = 12^\circ$  типу 36113, з внутрішнім діаметром  $d = 130 \text{ мм}$  та зовнішнім  $D = 200 \text{ мм}$  і шириною  $b = 33 \text{ мм}$ , за схемою дуплекс, показаною на рисунку 2.3. Динамічна та статична вантажопідйомність складають 144 кН та 161 кН відповідно.

Запропоновано мною замінити підшипники шпindelьного вузла базового верстата на високоточні підшипники фірми FAG: серії 7026-XL-MP в передній опорі та серії 7030-XL-MP в задній опорі.

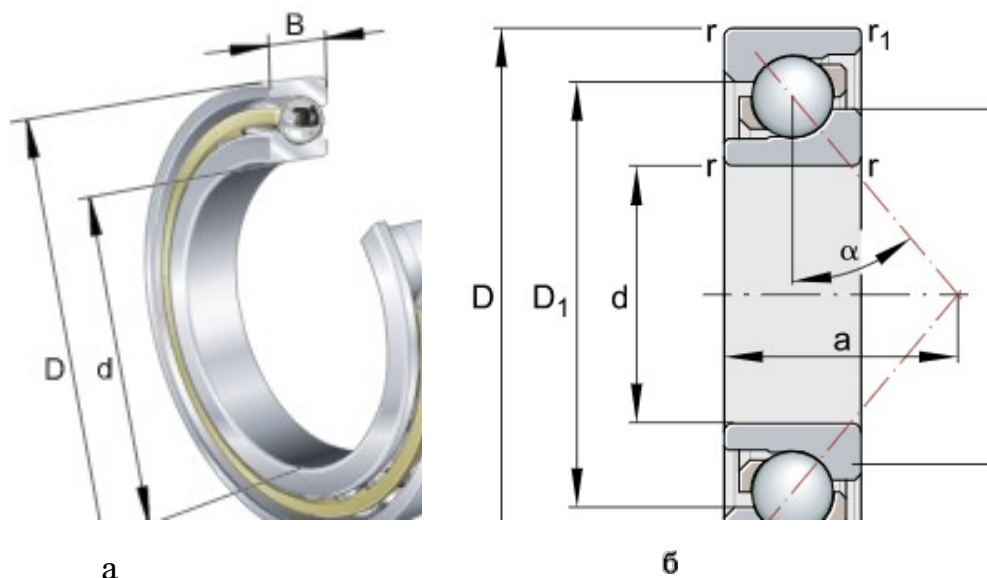


Рисунок 2.4. Згенерована 3D модель підшипника радіально-упорного кулькового серії 7026-XL-MP 9 (а) та серії 7030-XL-MP

( ).

Параметри підшипника серії 7026-XL-MP: радіально-упорні нероз'ємні однорядні підшипники зі скосом на зовнішньому кільці та кутом контакту  $\alpha = 30^\circ$  типу 36116, з внутрішнім діаметром  $d = 150$  мм та зовнішнім  $D = 225$  мм і шириною  $b = 35$  мм.

Параметри підшипника серії 7030-XL-MP: шарикові радіально-упорні нероз'ємні однорядні зі скосом на зовнішньому кільці та кутом контакту  $\alpha = 12^\circ$  типу 36113, з внутрішнім діаметром  $d = 130$  мм та зовнішнім  $D = 200$  мм і шириною  $b = 33$  мм. Детальні характеристики підшипників наведено нижче.

Таблиця 6.1.

## Характеристики підшипників фірми FAG [10]

Параметр	7026-XL-MP	7030-XL-MP
a	64 мм	72 мм
D <sub>1</sub>	172 мм	195 мм
D <sub>a max</sub>	191,2 мм	214,8 мм
D <sub>b max</sub>	195,4 мм	219 мм
d <sub>1</sub>	158 мм	180 мм
d <sub>a min</sub>	138,8 мм	160,2 мм
r <sub>1 min</sub>	1 мм	1,1 мм
r <sub>a max</sub>	2 мм	2,1 мм
r <sub>a1 max</sub>	1 мм	1 мм
r <sub>min a</sub>	2 мм	2,1 мм
вага	4,07 кг	5,3
динамічна вантажопідйомність, радіальна	131 000 Н	145000 Н
статична вантажопідйомність, радіальна	142000 Н	161000 Н
граничне навантаження, радіальне	7700 Н	8200 Н
обмеження швидкості	5000 л/хв	4400 л/хв
розрахункова швидкість	3450 1/хв	3100 1/хв

Дана схема установки підшипників може допомогти отримати необхідні максимальні значення частот обертання при дотриманні необхідної точності і жорсткості шпиндельного вузла, тому вона цілком відповідає нашим вимогам.

### **2.1.2. Розрахунок максимального режиму різання.**

При чорновому точінні зовнішньої поверхні деталі «Кільце підшипника». Матеріал деталі ШХ15СГ ГОСТ 801\_78. Заготовка – труба Ø400. Інструмент – різець прохідний з пластинами з твердого сплаву Т15к6.

Таблиця 7.1.

## Параметри режимів різання

Припуск, мм	Глибина різання, мм	Подача,	Швидкість різання	Частота обертання	Сила	Крутний момент	Потужність
3 мм	3 мм	0,7 мм/об	286,8 м/хв	223,9 об/хв	526,6 Н	524,6 Н*м	27 кВт

## 2.1.3. Розрахунок жорсткості (податливості) опор

Визначаємо реакції відповідно передньої та задньої опор та  $R_2$  по схемах (рис. 2.5.) [11].

Для нашого випадку  $l = 470$  мм;  $a = 120$  мм,  $P_{розр} = 2,6$  кН

Розраховуємо жорсткість передньої  $J_{r1}$  та задньої  $J_{r2}$  опори:

1) Жорсткість передньої опори:

$$j_r = \frac{1,66 \cdot F_r}{\delta_{rn} + \delta_{rk}}, \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

де  $\delta_{rn}$  - пружне зближення тіл кочення та кілець підшипника, у контакті з найбільш навантаженого тіла кочення з доріжкою кочення, мкм;  $\delta_{rk}$  - контактне зближення на поверхнях посадок підшипника, шпинделя та корпусу (контактні деформації у місцях посадок), мкм.

Пружне зближення тіл кочення та кілець підшипника визначається за формулою:

$$\delta_{rn} = 0,03 \cdot d_T \cdot K_r,$$

де  $d_T$  - діаметр тіла кочення, мм;  $K_r$  - радіальне переміщення в опорах, мм.

Деформації на поверхнях посадок визначаються як:

$$\delta_{rk} = \frac{4 \cdot R \cdot K_\delta}{\pi \cdot d \cdot B} \cdot \left(1 + \frac{d}{D}\right),$$

де  $d, D$  - внутрішній та зовнішній діаметри підшипника;  $B$  - ширина,  $K_\delta$  -

коефіцієнт піддатливості: 0,0005-0,0025 ;  $R$  - реакція опори.

Діаметр тіла кочення:

$$d_T = 0,32 \cdot (D - d)$$

Для підшипників серії 7026 радіальне переміщення в опорах, мм, визначається за формулами:

$$K_r = \frac{0,026}{[(K)_F + 0,02]^{0,6}} \cdot \left(\frac{F_r}{C_0}\right)$$

$$K_F = 0,33 \cdot \left(\frac{F_H}{C_0}\right)^{0,64},$$

де  $F_r$  - радіальне навантаження, що припадає на один підшипник опори, Н (у

випадку якщо опора містить два підшипники, то  $F_r = \frac{R}{2}$ , де  $R$  - реакція опори);

$F_H$  - попередній натяг у швидкісних радіально-упорних підшипниках, Н;  $C_0$  - статична вантажопідйомність, кН.

Визначаємо попередній натяг у швидкісних радіально-упорних підшипниках визначаю за формулою:

$$F_H \approx 1,7 \cdot F_r \cdot \text{tg } \alpha$$

Розраховую попередній натяг:



$$F_r = \frac{R_A}{2} = \frac{2,5 \text{ кН}}{2} = 1250 \text{ Н}$$

$$F_H = 1,7 \cdot F_r \cdot \operatorname{tg} \alpha = 1,7 \cdot 1250 \cdot \operatorname{tg} 30 = 1226,86 \text{ Н}$$

Отже

$$K_F = 0,33 \cdot \left( \frac{F_H}{C_0} \right)^{0,64} = 0,33 \cdot \left( \frac{1226,86}{142000} \right)^{0,64} = 0,047$$

$$K_r = \frac{0,026}{\left[ (K)_F + 0,02 \right]^{0,6}} \cdot \left( \frac{F_r}{C_0} \right) = \frac{0,026}{(0,047 + 0,02)^{0,6}} \cdot \left( \frac{1250}{142000} \right) = 0,553 \text{ мм}$$

Розраховую пружне зближення тіл кочення та кілець підшипника:

$$\delta_{rn} = 0,03 \cdot d_T \cdot K_r = 0,03 \cdot 24 \cdot 0,553 = 0,039 \text{ мм} = 3,9 \text{ мкм}$$

Визначаю деформації на поверхнях посадок:

$$\delta_{rk} = \frac{4 \cdot R_A \cdot K_\delta}{\pi \cdot d \cdot B} \cdot \left( 1 + \frac{d}{D} \right) = \frac{4 \cdot 1200 \cdot 0,0025}{3,14 \cdot 150 \cdot 35} \cdot \left( 1 + \frac{150}{225} \right) = 0,0012 \text{ мм} = 0,12 \text{ мкм}$$

Розраховую значення радіальної жорсткості підшипника передньої опори:

$$j_r = \frac{1,66 \cdot F_r}{\delta_{rn} + \delta_{rk}} = \frac{1,66 \cdot 1250}{3,9 + 0,12} = 516,1 \frac{\text{Н}}{\text{мкм}}$$

Жорсткість передньої опори, що містить 3 підшипники, становить:

2) Жорсткість задньої опори:

Розташування підшипників у задній опорі аналогічне розташуванню

підшипників у передній, тому використовуємо аналогічний п.1 розрахунок.

Попередній натяг у швидкохідних радіально-упорних підшипниках визначаю за формулою:

$$F_H \approx 1,7 \cdot F_r \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Розраховую попередній натяг:

$$F_r = \frac{R_B}{2} = \frac{1,2 \text{ кН}}{2} = 600 \text{ Н}$$

де  $R_B$  - реакція у задній опорі.

$$F_H = 1,7 \cdot F_r \cdot \operatorname{tg} \alpha = 1,7 \cdot 600 \cdot \operatorname{tg} 30 = 588,8 \text{ Н}$$

Отже

$$K_F = 0,33 \cdot \left( \frac{F_H}{C_0} \right)^{0,64} = 0,33 \cdot \left( \frac{588,8}{161000} \right)^{0,64} = 0,273$$

$$K_r = \frac{0,026}{[(K)_F + 0,02]^{0,6}} \cdot \left( \frac{F_r}{C_0} \right) = \frac{0,026}{(0,081 + 0,02)^{0,6}} \cdot \left( \frac{600}{161000} \right) = 0,00055 \text{ мм}$$

Розраховую пружне зближення тіл кочення та кілець підшипника:

$$\delta_{rn} = 0,03 \cdot d_T \cdot K_r = 0,03 \cdot 22,4 \cdot 0,00055 = 0,000306 \text{ мм} = 0,306 \text{ мкм}$$

Визначаю деформації на поверхнях посадок:

$$\delta_{rk} = \frac{4 \cdot R_B \cdot K_\delta}{\pi \cdot d \cdot B} \cdot \left( 1 + \frac{d}{D} \right) = \frac{4 \cdot 1200 \cdot 0,0025}{3,14 \cdot 130 \cdot 200} \cdot \left( 1 + \frac{130}{200} \right) = 0,00024 \text{ мм} = 0,24 \text{ мкм}$$

Розраховую значення радіальної жорсткості задньої опори:

$$j_r = \frac{1,66 \cdot F_r}{\delta_{rn} + \delta_{rk}} = \frac{1,66 \cdot 600}{0,306 + 0,24} = 148,2 \frac{\text{Н}}{\text{мкм}}$$

Жорсткість задньої опори, що містить 2 підшипники, становить:

Отже,

, .

Податливості передньої та задньої опор:

$$e_1 = \frac{1}{7700} = 0,00013 \text{ мкм}$$

$$e_2 = \frac{1}{8200} = 0,00012 \text{ мкм}$$

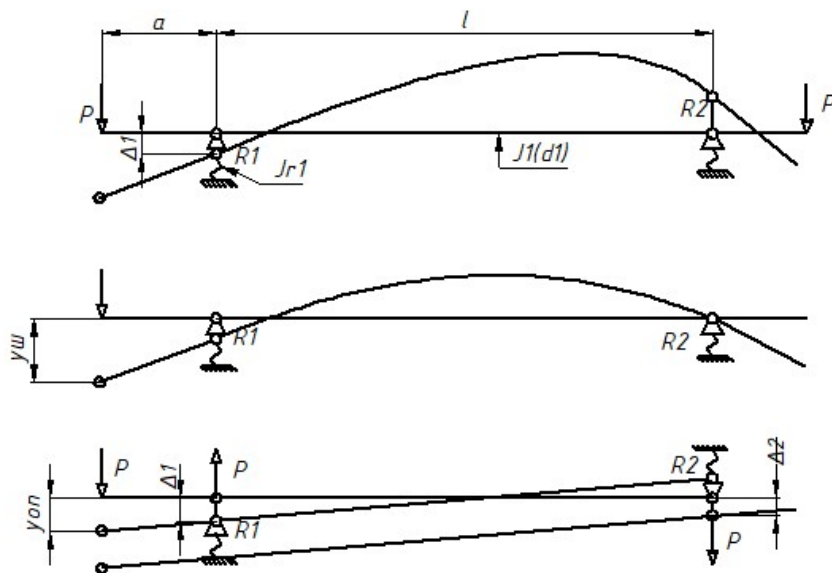


Рисунок 2.5. Розрахункові схеми шпиндельного вузла

#### 2.1.4. Визначення радіальної жорсткості шпиндельного вузла

На передньому кінці шпинделя радіальне переміщення дорівнює:

де  $y_w$  - радіальне переміщення, яке може виникати внаслідок згину

шпинделя, податливістю опор та здвигом від дії поперечних сил (яке не перевищує показник в 3-6%, тому ним нехтуємо):

,

За інтегралом Мора та правилом Верещагіна визначаємо  $J_1(d_1)$  :

де  $E$  – модуль пружності, для сталі  $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа} = 2 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$ ;  
 $I_1, I_2$  – моменти інерції міжопорної відстані і передньої консолі.

$$I_1 = \frac{\pi d^4}{64} \left[ 1 - \left( \frac{d'}{d} \right)^4 \right] = \frac{\pi \cdot 150^4}{64} \left[ 1 - \left( \frac{47}{150} \right)^4 \right] = 2,48 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

$$I_2 = \frac{\pi d^4}{64} \left[ 1 - \left( \frac{d'}{d} \right)^4 \right] = \frac{\pi \cdot 130^4}{64} \left[ 1 - \left( \frac{39}{130} \right)^4 \right] = 1,39 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^4$$

$\varepsilon_3$  – коефіцієнт защемлення на передній опорі,  $\varepsilon_3 = 0,15$ .

За подібністю трикутників при умові абсолютної жорсткості шпинделя визначаємо :

На передньому кінці шпинделя радіальне переміщення дорівнює:

$$+2623 \left\{ 0,000001 \left[ \frac{120(1 - 0,15) + 470}{470} \right]^2 + 0,000008(1 - 0,15) \left( \frac{120}{470} \right)^2 \right\} = 0,00267 \text{ мм}$$

Перевіряємо умову:

$$y \leq [y] = 0,0001 \cdot l = 0,0001 \cdot 470 = 0,047 \text{ мм}$$

$$0,00267 \text{ мм} < 0,047 \text{ мм.}$$

Загальна радіальна податливість:

### 2.1.5. Визначення радіального биття передньої та задньої опор

Визначення радіального биття передньої  $\delta_A$  та задньої  $\delta_B$  опор:

$$\delta = \delta_A \left(1 + \frac{a}{l}\right) + \delta_B \frac{a}{l} \leq \frac{\Delta}{3}$$

де  $\Delta$  - допуск на радіальне биття шпинделя,  $\Delta = 1 \text{ мм}$ .

Прийняли  $\delta_A \left(1 + \frac{a}{l}\right) = \delta_B \frac{a}{l}$ , і маємо:

$$\delta_A = \frac{\Delta}{6 \left(1 + \frac{a}{l}\right)} = \frac{0,001}{6 \left(1 + \frac{120}{470}\right)} = 0,0001327 \text{ мм}$$

$$\delta_B = \frac{\Delta}{6 \cdot \frac{a}{l}} = \frac{0,001}{6 \cdot \frac{120}{470}} = 0,000652 \text{ мм}$$

### 2.1.6 Визначення демпфувальних властивостей шпиндельного вузла

Демпфувальні властивості ШВ оцінюються за допомогою логарифмічного декременту коливань:

$$\lambda_{\text{ш}} = \ln \left( \frac{A_i}{A_{i+1}} \right) > [\lambda]$$

Для токарного верстата  $[\lambda] = 0,23$ .

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,5 \frac{\psi_1 \cdot \psi_2 \cdot l^2}{a^2 \cdot \psi_1 + \psi_2 \cdot (l + a)^2} = 0,5 \frac{0,75 \cdot 0,46 \cdot 470^2}{120^2 \cdot 0,75 + 0,46 \cdot (470 + 120)^2} = 0,26.$$

$\psi_1$  – розсіювання енергії в передній опорі,  $\psi_1 = 0,4 + 0,35 = 0,75$

$\psi_2$  – розсіювання енергії в задній опорі,  $\psi_2 = 0,23 + 0,23 = 0,46$ .

Перевірка:

$$\lambda_{\text{ш}} > [\lambda]$$

$$0,26 > 0,23.$$

### 2.1.7. Визначення власної частоти шпинделя

Приблизний розрахунок власної частоти шпинделя виконуємо за формулою:

$$\omega_c = v \sqrt{\frac{E \cdot I_1}{m \cdot (1 + \lambda)^3 \cdot a^2}},$$

де  $v(\lambda)$  - коефіцієнт, який для  $\lambda = 3 \dots 4$  лежить в межах  $2,6 \dots 2,9$ ;

$m$  - маса шпинделя, кг;

$$\lambda = \frac{l}{a} = \frac{470}{120} = 3,9$$

$$\omega_c = v \sqrt{\frac{E \cdot I_1}{m \cdot (1 + \lambda)^3 \cdot a^2}} = 0,9 \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{11} \cdot 2,48 \cdot 10^{-6}}{90 \cdot (1 + 3,9)^3 \cdot 1,2^2}} = 32,5 \text{ с}^{-1}.$$

## 2.2. Розрахунок прямокутних напрямних ковзання

Поперечні супорти мають задовільняти високу продуктивність і точність обробки з різною подачею. Продуктивність подібного оброблення заготовок визначена плавністю переміщень супортів. Дослідження кілець підшипників доводять, що розсіювання розмірів деталей [17], залежать від похибки установки супортів на кінці робочого ходу (приблизно 40-50% загальної похибки). Точність зупинки супортів в кінцевому положення визначена плавністю його переміщень [17], жорсткістю та місцем розташування упору, яке обмежує кінцеве положення супортів; жорсткістю регульованого гвинта, який взаємодіє з упором, а також його кріпленням на супорті; схемою навантажування супортів, точністю виробництва деталей супортів та їх приводів.

Тому, покращення властивостей поперечних супортів зводяться до підвищення плавності їх переміщення, що направлені на усунення порушення плавності (рівномірності) руху або ж фрикційних автоколивань.

Можна виділити наступні основні напрямки підвищення плавності переміщення супортів:

- зменшення коефіцієнта тертя в напрямних супортів та різниці між коефіцієнтами тертя руху та тертя спокою;
- покращення схеми навантаження супортів;
- зменшення нормальних навантажень на напрямних супортів;
- збільшення демпфування.

### **2.2.1. Порівняння напрямних ковзання і кочення**

Напрявні призначені для переміщення по станині рухомих вузлів верстата, забезпечуючи правильність траєкторії руху заготовки або деталі і для сприйняття зовнішніх сил.

Напрявні верстатів з ЧПУ повинні забезпечувати переміщення вузлів з мінімальними відхиленнями від заданої траєкторії з точним виходом в задане положення, створювати найменший опір переміщенню вузлів, забезпечувати збереження працездатності і точності протягом тривалого терміну експлуатації, зменшувати і по можливості усувати нерівномірність переміщення і скачки при повільних рухах і в моменти зрушення з місця і зупинок, забезпечувати демпфірування коливань, що виникають при повільних переміщеннях, різанні і резонансних явищах в ланцюгах приводів подач. Ці властивості визначаються геометричною точністю напрямних, жорсткістю і демпфувальними властивостями конструкції, матеріалами і зносостійкість пари тертя, умовами мастила і сортом мастила, конструктивними особливостями напрямних і якістю їх виготовлення.

У базовому верстаті моделі ПАБ-350 використовуються напрямні кочення.

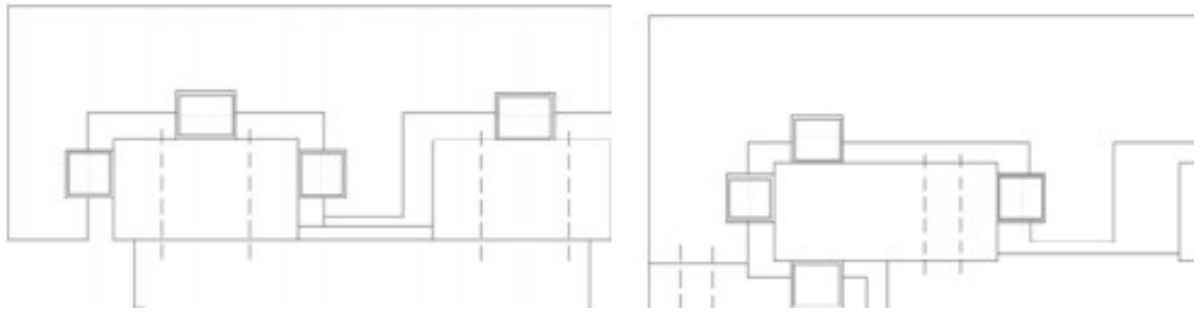


Рисунок 2.6. Напрямні кочення

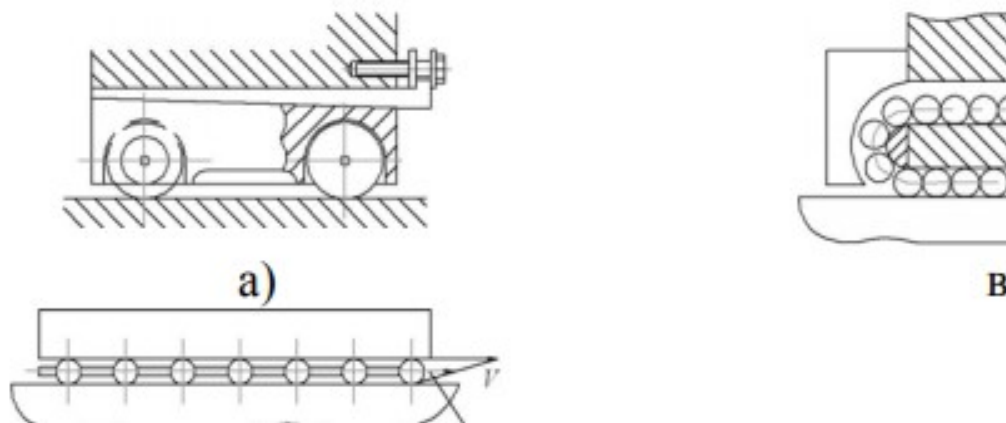


Рисунок 2.7. Напрямні кочення: а) – на роликах з закіпненими осями, б) – з потоком тіл кочення, в) – з поверненням тіл кочення

Напрямні кочення мають хороші характеристики тертя, рівномірність і плавність руху при малих швидкостях, точність настановних переміщень і довго зберігають точність; у них мале тепловиділення, їх легко змащувати.

Недоліками напрямних кочення в порівнянні з направляючими ковзання є висока вартість, трудомісткість виготовлення, знижений коефіцієнт демпфірування, підвищена чутливість до забруднень.

Тертя кочення в напрямних може створюватися при вільному прокочуванні кульок або роликів між рухомими поверхнями або застосуванням тіл кочення з фіксованими осями.

Найбільшого поширення в металорізальних верстатах мають напрямні з вільним прокатування тіл кочення так як є можливість розмістити більшу кількість тіл кочення в зоні контакту і забезпечити необхідні жорсткість і точність руху.



Задля підвищення здатності верстата виконувати свої функції в межах значень в умовах впливу вібрації, тобто підвищення працездатності, було здійснено заміну напрямних кочення на прямокутні напрямні ковзання.



Рисунок 2.8. Прямокутні напрямні ковзання, які використано для модернізації верстата ПАБ350

Напрямні ковзання характеризуються високим і непостійними за величиною тертям і застосовуються при малих швидкостях переміщення по ним супортів або столів. Різниця значення сили тертя спокою (сила зрушення) у порівнянні з тертям руху залежить від швидкості руху і призводить до стрибкоподібного руху вузлів при малих швидкостях.

Прямокутні напрямні прості у виготовленні, однак вони погано утримують мастило і легко засмічуються, вимагають пристроїв для регулювання зазорів. Вони застосовуються для повільних переміщень. Такі напрямні значно краще гасять коливання у динамічній системі верстата, тобто, мають вищий коефіцієнт демпфування, ніж напрямні кочення та підвищують вібраційну стійкість верстата.

### **2.2.2. Визначення навантажень на напрямні**

Для підвищення такого параметру працездатності як вібростійкість запропоновано заміну напрямних кочення на прямокутні напрямні ковзання, що мають значно вищий коефіцієнт демпфування .

Для розрахунку спрямовуємо вісі координат наступним чином: вздовж напрямку руху - вісь  $X$ , в основній площині напрямних перпендикулярно до напрямку вуху -  $Y$  , перпендикулярно до основної площини напрямних –  $Z$  [20]/

Вводимо умовні позначення:

$P_x, P_y, P_z$  - складові сил різання по вісях координат, Н;

$M_x, M_y, M_z$  - моменти від зовнішніх сил, що сприймаються напрямними, Н·мм,

$M_A, M_B, M_C$  - моменти, що сприймаються гранями А, В, С відповідно, Н·мм;

$A, B, C$  - реакції граней напрямних, Н;

$Q$  - тягове зусилля приводу, Н;

$\sigma_A, \sigma_B, \sigma_C$  - середні тиски на гранях, Мпа;

$a, b, c$  - ширина робочих поверхонь напрямних, мм;

$L$  - довжина контакту напрямних, мм;

$X_p, Y_p, Z_p$  - координати сил різання та ваги, мм;

$X_G, Z_G$  - координати точки прикладання тягового зусилля

$f$  - коефіцієнт тертя.

Дані для розрахунку напрямних кочення поперечних супортів беремо з попередніх обрахунків виготовлення типової деталі «Кільце підшипника» на верстаті моделі ПАБ-350:

$$P_x = 524,613 \text{ Н}, P_y = 1049 \text{ Н}, P_z = 2623 \text{ Н}, G = 2350 \text{ Н},$$

$$x_p = 180 \text{ мм}, y_p = 250 \text{ мм}, z_p = 180 \text{ мм}, x_G = 30 \text{ мм}, z_G = 150 \text{ мм},$$

$$a = 70 \text{ мм}, b = 25 \text{ мм}, c = 70 \text{ мм}, y_A = 500 \text{ мм}, f = 0,1$$

Для обрахунку потрібного тягового зусилля, реакцій та реактивних моментів напрямних використовуємо рівняння статички і додаткові умови поєднання переміщень. Початок координат розташовуємо в поперечній площині, що проходить на перетині реакцій, через середину довжини напрямних.

Згідно з розрахунковою схемою складаємо рівняння сил та моментів:

$$\sum F_x = Q - B \cdot f - P_x$$

$$\sum F_y = (A + C) \cdot f - B - G + P_y$$

$$\sum F_z = A + C - P_z$$

$$\Sigma M_x = (A + C) \cdot f \cdot z_f - G \cdot z_G + P_y \cdot z_p - P_z \cdot y_p + A \cdot y_A$$

$$\Sigma M_y = P_x \cdot z_p - Q \cdot z_Q - P_z \cdot x_p$$

$$\Sigma M_z = B \cdot f \cdot y_p + P_y \cdot x_p + P_x \cdot y_p - Q \cdot y_Q - G \cdot x_G$$

Сума сил та моментів відносно відповідної вісі дорівнює нулю, тому визначаємо невідомі реакції А, В, С та тягове зусилля Q:

$$\Sigma F_x = Q - B \cdot 0.1 - 524,613 = 0$$

$$\Sigma F_y = (A + C) \cdot 0.1 - B - 2350 + 1049 = 0$$

$$\Sigma F_z = A + C - 2623 = 0$$

$$\Sigma M_x = (A + C) \cdot f \cdot 12,5 - 2350 \cdot 150 + 1049 \cdot 180 - 2623 \cdot 250 + A \cdot 500 = 0$$

$$Q = \begin{pmatrix} 524 & 0 & 0.1 & 0 \\ 2350 - 1049 & 0.1 & -1 & 0.1 \\ 2623 & 1 & 0 & 1 \\ -1049 \cdot 180 + 2350 \cdot 150 + 2623 \cdot 250 & 0.1 \cdot 12.5 & 0 & 0.1 \cdot 12.5 + \end{pmatrix}$$

Результат розрахунку:

Тягове зусилля  $Q = 1507 \text{ Н}$

Реакції граней:  $A = 359 \text{ Н}$ ,  $B = 3230 \text{ Н}$ ,  $C = 1396 \text{ Н}$

Вихідні дані для розрахунку напрямних вертикальних супортів:

$$P_x = 524,613 \text{ Н}, P_y = 1049 \text{ Н}, P_z = 2623 \text{ Н}, G = 2350 \text{ Н},$$

$$x_p = 250 \text{ мм}, y_p = 180 \text{ мм}, z_p = 180 \text{ мм}, y_G = 250 \text{ мм}, z_G = 150 \text{ мм}$$

$$a = 70 \text{ мм}, b = 25 \text{ мм}, c = 70 \text{ мм}, y_A = 240 \text{ мм}, f = 0,1$$

Для визначення необхідного тягового зусилля, реакцій та реактивних моментів напрямних використовують рівняння статки і додаткові умови поєднання переміщень. Початок координат розташовують в поперечній площині, що проходить через середину довжини напрямних, на перетині реакцій.

Згідно з розрахунковою системою складаємо рівняння сил та моментів:

$$\Sigma F_x = Q - B \cdot f - P_x - G$$

$$\Sigma F_y = (A + C) \cdot f + B + P_y$$

$$\Sigma F_z = A + C - P_z$$

$$\Sigma M_x = (A + C) \cdot f \cdot z_f - P_y \cdot z_p - P_z \cdot y_p + A \cdot y_A$$

$$\Sigma M_y = P_x \cdot z_p - Q \cdot z_Q - P_z \cdot x_p + G \cdot z_G$$

$$\Sigma M_z = B \cdot f \cdot y_p + P_y \cdot x_p + P_x \cdot y_p - Q \cdot y_Q + G \cdot y_G$$

Сума сил та моментів відносно відповідної осі дорівнює нулю, тому визначаємо невідомі реакції  $A$ ,  $B$ ,  $C$  та тягове зусилля  $Q$ :

$$\Sigma F_x = Q - B \cdot 0,1 - 1049 - 2350 = 0$$

$$\Sigma F_y = (A + C) \cdot 0,1 + B + 524 = 0$$

$$\Sigma F_z = A + C - 2623 = 0$$

$$\Sigma M_x = (A + C) \cdot f \cdot 12,5 - 524 \cdot 240 - 2623 \cdot 180 + A \cdot 480 = 0$$

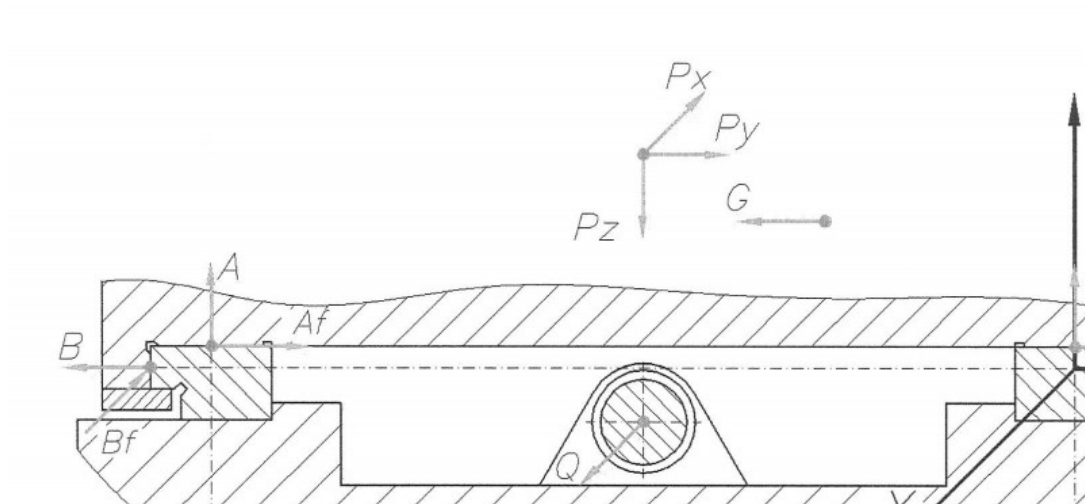


Рисунок 2.9. Розрахункова схема

$$M_i = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -0.1 & 0 \\ 0 & 0.1 & 1 & 0.1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0.1 \cdot 12.5 & 0 & 0.1 \cdot 12.5 + 480 \end{pmatrix}$$

$$Q_i = \begin{pmatrix} 1049 + 2350 & 0 & -0.1 & 0 \\ 524 & 0.1 & 1 & 0.1 \\ 2623 & 1 & 0 & 1 \\ 524 \cdot 240 + 2623 \cdot 180 & 0.1 \cdot 12.5 & 0 & 0.1 \cdot 12.5 + 480 \end{pmatrix}$$

$$(|C_{\Sigma}|)/(|M|) = 186.44$$

Результат розрахунку:

Тягове зусилля  $Q = 8000\text{H}$

Реакції граней:  $A=1569\text{H}$ ,  $B = 1645\text{H}$ ,  $C = 186,5\text{H}$

### **2.2.3. Визначення середніх тисків на грані напрямних**

Працездатність напрямних визначається такими важливими параметрами як зносостійкість та жорсткість і в значній мірі визначаються тисками в напрямних. Окрім навантаження та розмірів напрямних, величина дійсних тисків

визначається величинами зазорів, похибками виготовлення напрямних, чистотою поверхні, жорсткістю деталей, що сполучаються і т.п.

Визначити дійсні тиски – досить трудомістка та складна задача. Найбільшого поширення сьогодні отримав розрахунок напрямних за середніми та найбільшими тисками. Середні тиски на гранях визначаються за формулою:

$$\sigma_i = \frac{R_i}{h_i \cdot L},$$

де  $R_i$  - реакція і-тої опори,  $h_i$  - ширина і-тої грані.

Середні тиски на гранях напрямних поперечних супортів:

Середні тиски на гранях напрямних поперечних супортів:

При невеликих швидкостях, а саме при швидкостях подач, допустимий тиск на грань напрямної дорівнює  $[\sigma] = 1,2 \dots 1,5 \text{ МПа}$ .

Беручи до уваги результати, які були отримані розрахунком напрямних за середніми тисками, можна вважати, що середні тиски на грані не перевищують допустимих.

$$\sigma_t = [\sigma] = 1,2 \dots 1,5 \text{ МПа}$$

#### **2.2.4. Визначення максимальних тисків на грані напрямних**

Для розрахунку найбільших тисків в напрямних деталей з великою власною жорсткістю необхідно розуміти співвідношення моментів  $M_y$  та  $M_z$ , що сприймає кожна із напрямних. Здебільшого момент розподіляється між напрямними пропорційно наведеним ширинам (при хорошій жорсткості салазок). Узагальнюючи сказане: наведена ширина напрямної дорівнює сумі наведених ширин окремих її граней. Для дії приведення моменту  $M_y$  є площа  $x_y$ , для дії моменту  $M_z$  - площа  $z_x$ .

Для прямокутних напрямних:



Вважаємо, що перекидні моменти малі, тому розрахуємо найбільші тиски на грані напрямних:

$$\sigma_{\max A} = \sigma_A + \frac{6M_A}{a \cdot L^2} = 0.013 + \frac{6 \cdot 9573}{70 \cdot 390^2} = 0.019 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\max B} = \sigma_B + \frac{6M_B}{b \cdot L^2} = 0.031 + \frac{6 \cdot 19150}{70 \cdot 390^2} = 0.057 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\max C} = \sigma_C + \frac{6M_C}{c \cdot L^2} = 0.051 + \frac{6 \cdot 9573}{70 \cdot 390^2} = 0.057 \text{ МПа}$$

Найбільші тиски, які допускаються на напрямних верстатів, мають середні розміри при швидкостях подач і складають 2,5...3 Мпа. Найбільші тиски на гранях напрямних не повинні перевищувати допустимі максимальні тиски:

$$\sigma_{\max i} \leq [\sigma_{\max}]$$

Згідно з даними розрахунків, вищенаведена умова виконується.

### 2.2.5. Розрахунок величини стрибків при використанні запропонованих напрямних

При швидкостях подачі спостерігаються малі переміщення. Їх точність напряму залежить від динамічних властивостей пружної системи приводу, а саме: характеру тертя в напрямних та жорсткості приводу.

При малих швидкостях ковзання здебільшого мають місце різко виражена невірномірність руху, його переривчастість, періодичні зриви та зупинки. Виникає так званий стрибкоподібний рух, який є характерним для верстатів високої точності, коли є необхідність забезпечити переміщення зі швидкостями порядку кількох міліметрів за хвилину, а то й нижче.

Для перевірки того, чи задовольняють запропоновані заходи (а саме заміна напрямних) умовам підвищення вібростійкості, необхідно знайти лінійну величину стрибків при малих переміщеннях.

При умові руху на малих швидкостях величина стрибка підраховується приблизно за формулою:

$$s = \frac{\Delta F}{k} \cdot (2 - \pi \cdot \theta),$$

де  $k$ -приведена жорсткість приводу,  $\theta$  - коефіцієнт затухання коливань

#### Розрахунок для напрямних поперечних супортів

Сила статичного тертя (тертя спокою)  $F_0 = B \cdot f_0$ , де  $f_0$ - коефіцієнт тертя спокою ( $f_0=0,22$ ).

$$F_0 = 3230 \cdot 0,22 = 710,6 \text{ Н}$$

Сила тертя руху де  $f$  - коефіцієнт тертя руху ( $f=0,1$ )

$$F = 3230 \cdot 0,1 = 323 \text{ Н}$$

$$\Delta F = F_0 - F = 710,6 - 323 = 387,6 \text{ Н}$$

Коефіцієнт затухання коливань  $\theta = \frac{\psi}{4\pi}$  де  $\psi$  - відносне розсіювання енергії коливань. Для сухих сталєних і чавунних стиків  $\psi = 0,15$ .

$$\theta = \frac{\psi}{4\pi} = \frac{0,15}{4\pi} = 0,012$$

Вважаємо, що наведена жорсткість приводу визначається жорсткістю гвинта як стрижня, який працює на розтяг, працює формула :

$$k = \frac{E \cdot \pi \cdot d_{cp}^2}{4l}$$

Де  $E$  – модуль пружності сталі,  $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ;

$d_{cp}$  - діаметр гвинта,  $d_{cp} = 80 \text{ мм}$ ;

$l$  - довжина гвинта,  $l = 1500 \text{ мм}$ .

$$k = \frac{E \cdot \pi \cdot d_{cp}^2}{4l} = \frac{21 \cdot 10^5 \cdot \pi \cdot 80^2}{4 \cdot 1500} = 7,037 \cdot 10^5 \text{ Н / мм}$$

Визначаємо величину стрибка:

$$s = \frac{\Delta F}{k} \cdot (2 - \pi \cdot \theta) = \frac{387,6}{(7,036 \cdot 10^5)(2 - \pi \cdot 0,012)} = 1,081 \cdot 10^{-3} \text{ мм} = 1,081 \text{ мкм}$$

Дискретність позиціонування верстата ПАБ-350, задана технічними характеристиками, не перевищує 5 мкм. Порівнявши величину стрибка з допустимою дискретністю позиціонування, визначаємо, що заміна напрямних ковзання на напрямні кочення не зменшує точність позиціонування.

$$s = 1,1 \text{ мкм} \leq [s] = 5 \text{ мкм}$$

### Розрахунок для напрямних вертикальних супортів:

Сила статичного тертя (тертя спокою)  $F_0 = B \cdot f_0$  де  $f_0$  - коефіцієнт тертя спокою ( $f_0 = 0,22$ )

$$F = 1654 \cdot 0,22 = 364 \text{ Н}$$

Сила тертя руху  $F = B \cdot f$  де  $f$  - коефіцієнт тертя руху ( $f_0 = 0,1$ )

$$F = 1654 \cdot 0,1 = 165,4 \text{ Н} \quad F = F_0 - F = 364 - 165,4 = 198,6 \text{ Н}$$

Коефіцієнт затухання коливань  $\theta = \frac{\psi}{4\pi}$  де  $\psi$  - відносне розсіювання енергії коливань. Для сухих сталєних і чавунних стиків  $\psi = 0,15$ .

$$\theta = \frac{\psi}{4\pi} = \frac{0,15}{4\pi} = 0,012$$

Приведена жорсткість приводу:

$$k = \frac{E \cdot \pi \cdot d_{cp}^2}{4l}$$

де  $E$  – модуль пружності сталі,  $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ,  $d_{cp}$  – діаметр гвинта,  $d_{cp} = 80 \text{ мм}$ ;  $l$  – довжина гвинта,  $l = 1500 \text{ мм}$ .

$$k = \frac{E \cdot \pi \cdot d_{cp}^2}{4l} = \frac{21 \cdot 10^5 \cdot \pi \cdot 80^2}{4 \cdot 1500} = 7,037 \cdot 10^5 \text{ Н / мм}$$

Визначаємо величину стрибка:

$$s = \frac{\Delta F}{k} \cdot (2 - \pi \cdot \theta) = \frac{198,6}{(5,37 \cdot 10^5)(2 - \pi \cdot 0,012)} = 7,25 \cdot 10^{-4} \text{ мм} = 0,7 \text{ мкм}$$

$$s = 1,1 \text{ мкм} \leq [s] = 5 \text{ мкм}$$

Розрахована величина стрибка менша від допустимої. Якщо є потреба у підвищенні вібростійкості і зменшенні стрибкоподібності руху, також доцільно використовувати антистрибкові мастила або накладки на напрямні зі спеціальних антифрикційних матеріалів, як, наприклад, фторопласт (тефлон), коефіцієнт тертя ковзання якого є одним з найменших серед відомих доступних конструкційних матеріалів.

### 2. 3. Розробка патрону для обробки кілець підшипників

Обробка деталі «Кільце підшипника» відбувається при встановленні деталі патронах в двох шпинделях верстата послідовно. Спочатку обробка виконується при встановленні в патроні, який представлено на кресленні 1.20 по зовнішній поверхні та торцю. Виконується обробка фасонного отвору та торця. Для обробки деталі з іншої сторони деталь встановлюється на розтискний патрон з базуванням по отвору та іншому торцю.

Патрон затискний (рис. 2.11.) призначений для закріплення кілець підшипника по зовнішній поверхні при обробці внутрішньої циліндричної поверхні кільця підшипника. Корпус 3 розміщений на планшайбі 7 за допомогою гвинтів 24. Планшайба 7 розміщена на торці шпинделя верстата та зафіксована гвинтами 25. Тяга 6 переміщується в корпусі за допомогою штока 5, що зв'язаний з приводом верстата та фіксується на ньому в осьовому напрямі

гайкою 10 зі стопорним гвинтом 26,27 та кульки 34 з пружиною 18. Корпус 3 патрона з торця закритий рухомою кришкою 2, яка переміщається з гвинтом 21 служить для видалення заготовки із патрона та для усунення попадання всередину патрона стружки і мастильно – охолоджуючої рідини. Кришка 2 відіграє роль упора при встановленні заготовки. Затиск деталі відбувається за допомогою переміщення тяги 6 вліво. вона переміщує вліво шток 5.

В штоці 5 виконано 6 прожин, в яких закріплено кулачки, які складаються з 2 частин 9 і 8.

На кінці кулачка поз. 8 власне затискний кулачок 1, який кріпиться болтом з закал сталі поз 22, для закріплення деталі.

Кулачки розміщені в розточці корпусу 3. Кулачок 8 встановлено у втулці 35, яка має зовнішню сферичну поверхню. Завдяки можливості втулки 35 здійснювати хитні рухи, здійснюється затиск заготовки кулачками.

### **2.3.1. Розрахунок затискного патрону**

Розробку пристрою – патрона затискного будемо проводити для токарної операції при установці заготовки деталі «Кільце підшипника» (рисунок 1.21.) в самоцентрівному механізованому патроні.

Сила затиску заготовки одним кулачком патрона  $Q=437$  Н.

Регулювання кулачків передбачено в межах діаметрів заготовки, що закріплюються, від 380 до 420 мм. уточнити

Даний патрон має підвищену точність, зносостійкість та жорсткість.

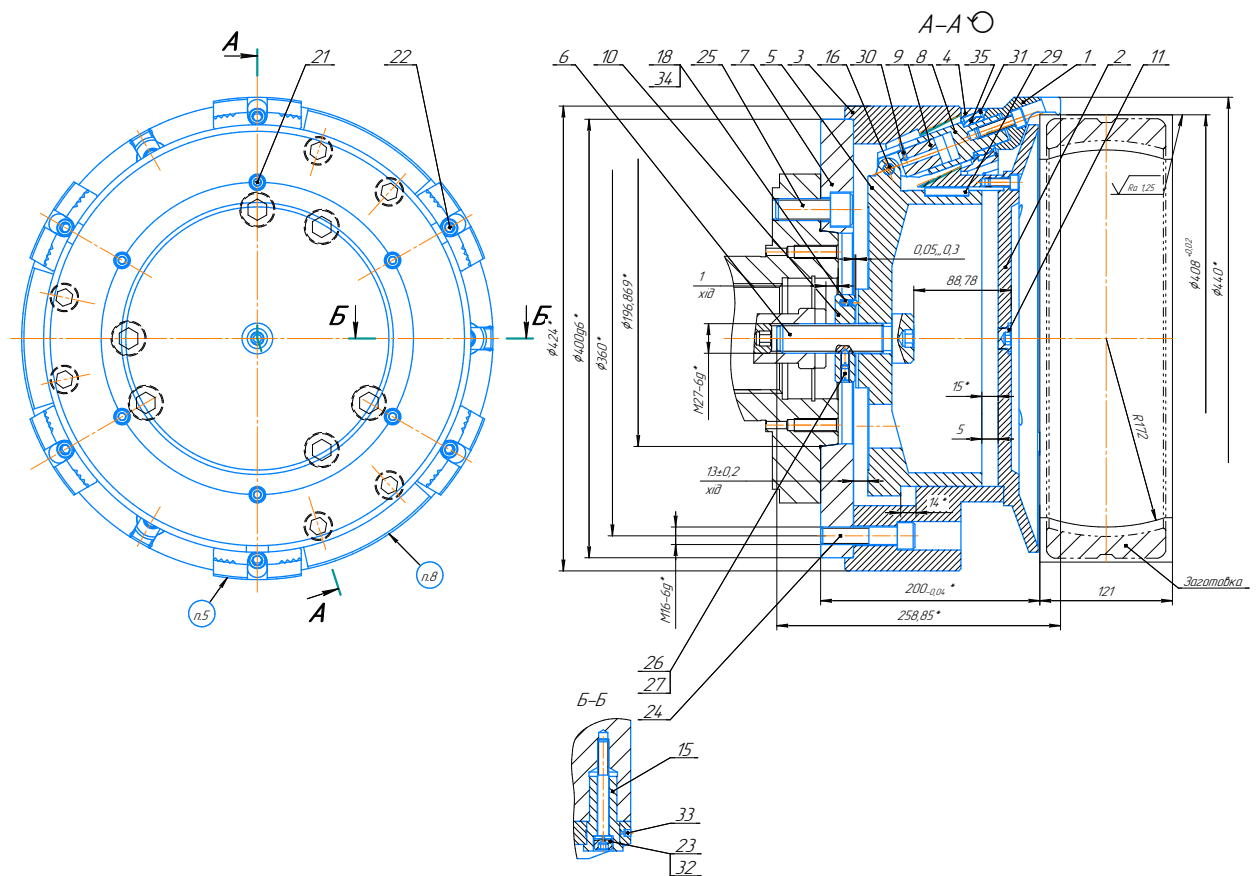


Рисунок 2.12. Креслення патрон

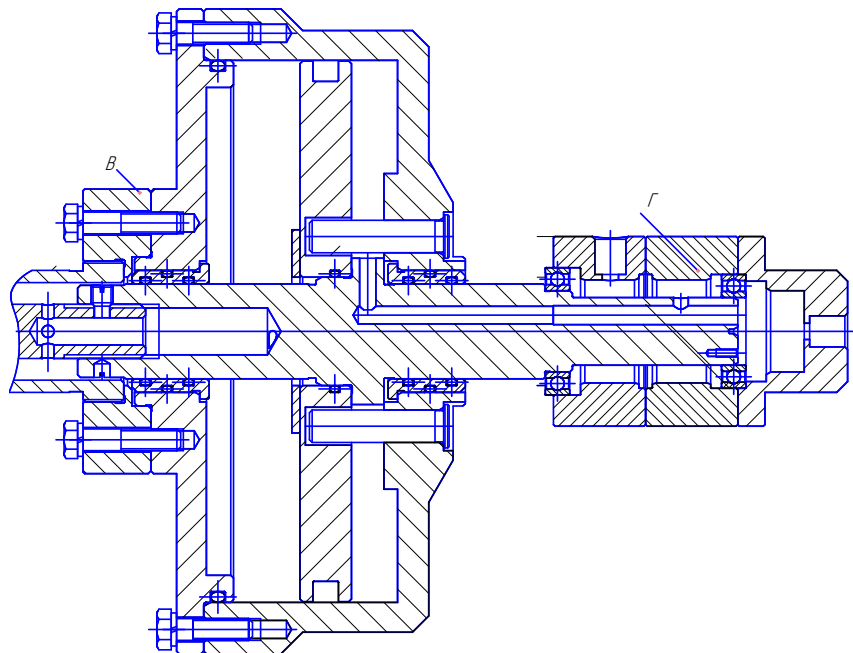
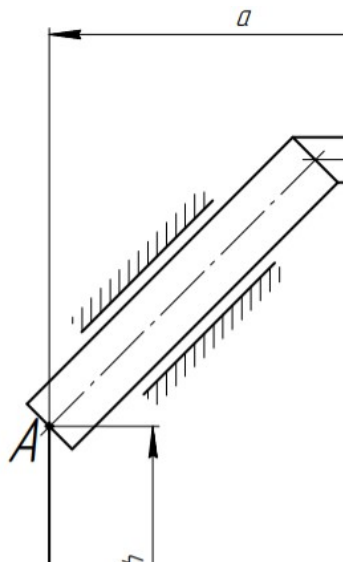


Рисунок 2.13. Обертовий пневмоциліндр

На рис. 2.13. наведено приклад ескізу компоновки верстатного пристрою. Корпус патрона центрується і становлюється на конічній поверхні переднього

кінця шпинделя на перехідному фланці Б. Пневмоциліндр центрується за допомогою перехідного фланця В на кінці шпинделя. Шток пневмоциліндра з'єднано з муфтою патрона тягою.

Стиснене повітря через пневматичну муфту Г потрапляє в безштокову порожнину пневмоциліндра.



Рисунку 2.14. Схема дії сил на основний кулачок патрона

Умова непровороту заготовки в патроні при затиску:

$$M_{зат} > M_{рез};$$

де  $M_{зат}$  - момент від сил затиску;  $M_{рез}$  - момент від сил різання (складова  $P_z$ ).

$$M_{зат} = W_{сум} \cdot f \cdot R;$$

$M_{рез}$  – момент від дії сили різання  $M_{рез} = 451 \text{ Н*м}$ .

$$W_{сум} \cdot f \cdot R = K \cdot M_{рез};$$

$$W = \frac{W_{сум}}{z};$$

$W_{сум}$  – сумарна сила затиску усіма кулачками;  $W$  – сила затиску одним кулачком;  $f$  - коефіцієнт тертя;  $Z$  – кількість кулачків;  $R$  – радіус заготовки;  $K$  – коефіцієнт запасу.

Умова надійного затиску заготовки в патроні має вигляд:

$$W_{сум} > \frac{K P_z}{f};$$

потрібна сила затиску одним кулачком обчислюється за формулою:

$$W = \frac{K \cdot M_{\text{рез}}}{f \cdot R \cdot z};$$

Для визначення необхідної сили затиску Q запишемо рівняння

$$\sum M_A = Qh - Wa = 0;$$

де  $K=1.5$  – коефіцієнт запасу,  $a$  – виліт кулачка від кінця паза до лінії сили  $Q$  на одному кулачкові,  $a=13,8$  см;  $h$  – довжина направляючої частини кулачка,  $h=15,45$  см;  $f$  – коефіцієнт тертя в рухомих частинах патрона,  $f=0,55 \dots 0,65$ ;

$$W = \frac{1,5 \cdot 451}{0,65 \cdot 0,172 \cdot z} = 2016 \text{ Н};$$

До пневмоприводу подається стиснене повітря від пневмомережі (0,4-0,36 МПа,  $P_{\text{max}}=1$  МПа).

Якщо порівнювати гідро- та пневмодвигуни, то останні мають ряд переваг:

- 1) у них немає джерел тиску, оскільки на більшості виробництв є лінії стисненого повітря;
- 2) відсутні зворотні трубопроводи, тому що відпрацьоване повітря виходить в оточуюче середовище;
- 3) маються просту апаратуру і арматуру.

Пневмоциліндри мають і недоліки: у них достатньо низький рівень робочого тиску стисненого повітря, що змушує використовувати циліндри великих розмірів (діаметрів) і поєднання механізмів-підсилювачів (шарнірно-важельних, клинових, гвинтових тощо). Вищесказані недоліки зумовлюють збільшення габаритів та маси пневмоциліндрів, ускладнення конструкцій, збільшення території для їх використання.

Тому, пневматичні пристрої використовують для встановлення заготовок, які обробляють з невеликими силами різання.

Тягнуча сила штока пневмоциліндра:

$$W = \frac{\pi}{4} D_u^2 \cdot P \cdot \eta, \quad (*);$$



де  $D_{\text{ц}}$  – робочий діаметр циліндра, м;  $P$  – тиск повітря в пневмомережі,  $P=0,4$  МПа;  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії пневмоциліндра,  $\eta=0,85$ .

З формули (\*) визначимо робочий діаметр циліндра:

$$D_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{4W}{\pi P \eta}};$$

$$D_{\text{ц}}=82 \text{ мм};$$

Отримане значення  $D_{\text{ц}}$  округлюємо до найближчого стандартного значення згідно ГОСТ 12447-80 і приймаємо  $D_{\text{ц}}=90$  мм.

Інші розміри циліндра визначаємо за стандартами.

### 3. Розробка керуючої програми обробки деталі «Шпиндель»

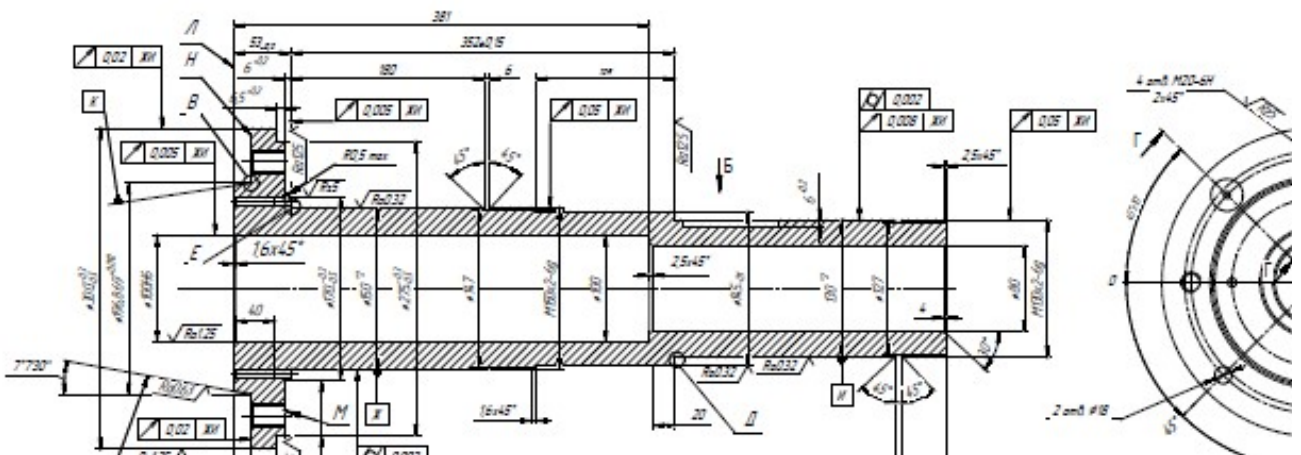
Метою даного розділу є створення керуючої програми для обробки на верстаті з ЧПУ CP 640.

#### 3.1. Ошибка! Источник ссылки не найден.

Для виготовлення шпинделя (рисунок 3.1) необхідно створити керуючу програму в середовищі HeidenHain CP 640.



а)



б)

Рисунок 3.1. 3D-модель (а) та креслення (б) деталі «Шпиндель»

Основні розміри з допусками форми та положення, а також технічні умови з вимогами до обробленої поверхні представлені на рисунку 3.1. Матеріал деталі Сталь 12ХНЗА ГОСТ 1133-71 (легована високоякісна сталь із вмістом вуглецю 1,2%, незначним вмістом хрому - 1,5%, нікелю - 3%, а також шкідливих сірки та фосфору менше 0,025%). В якості заготовки використано поковку.

На першому установі деталь буде встановлена в трьохкулачковому патроні при обробці основної частини поверхонь.

Написання програми керування обробкою деталі в системі HeidenHain CP 640 включає виконання певних етапів, які будуть представлені в наступних пунктах.

### 3.1.1. Призначення матеріалу та налаштування інструментів в револьверній голівці

Призначимо матеріал та одиниці вимірювання на рисунок 3.2.

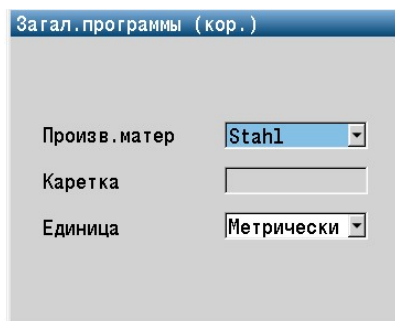












Рисунок 3.2. Встановлення системи вимірювання та задання матеріалу деталі

Завантажимо інструменти в список револьверної головки та привласнимо їм номер для виклику (рисунок 3.3.).

1	A-SCHR-55-08-G		1	Roughing Outside	0.80	95.0	60.0 Hartmetall
2	A-SCHL-35-04		1	Finishing Outside	0.40	120.0	25.0 Keramik
3	I-SCHR-55-08		7	Roughing Inside	0.80	100.0	50.0 Hartmetall
4	I-SCHL-35-04		7	Finishing Inside	0.40	100.0	35.0 Hartmetall
5	I-GEW-20		1	Thread Inside	0.10	60.0	60.0 HSS
6	M-FRAES-16-25G		2	Mill	12.00	6	HSS
7	S-BOHR-6.8-40		8	Twist drill driven	40.00	118.0	HSS

a)

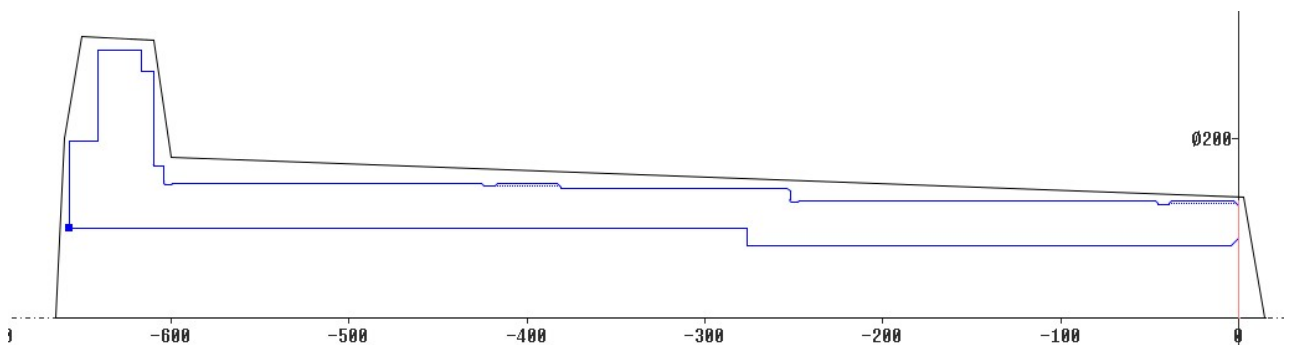
1	A-SCHR-55-08-G		1 Roughing Outside	0.80	95.0	60.0 Hartmetall
2	A-SCHL-35-04		1 Finishing Outside	0.40	120.0	25.0 Keramik
3	I-SCHR-55-08		7 Roughing Inside	0.80	100.0	50.0 Hartmetall
4	S-BOHR-6-40		8 Twist drill driven	6.80	118.0	HSS
5	M-BOHR-5.2-20		8 Twist drill driven	18.00	118.0	HSS
6	S-BOHR-6.5-40		8 Twist drill driven	17.50	118.0	HSS
7	S-BOHR-6.8-40		8 Twist drill driven	40.00	118.0	HSS
8	M-GEWB-M6x1		8 Tap driven tool	20.00		1.000 HSS
9	S-GEWB-M8-1.25		8 Tap driven tool	8.00		1.250 HSS
10	M-FRAES-6-25G		8 Mill	6.00	4	HSS

б)

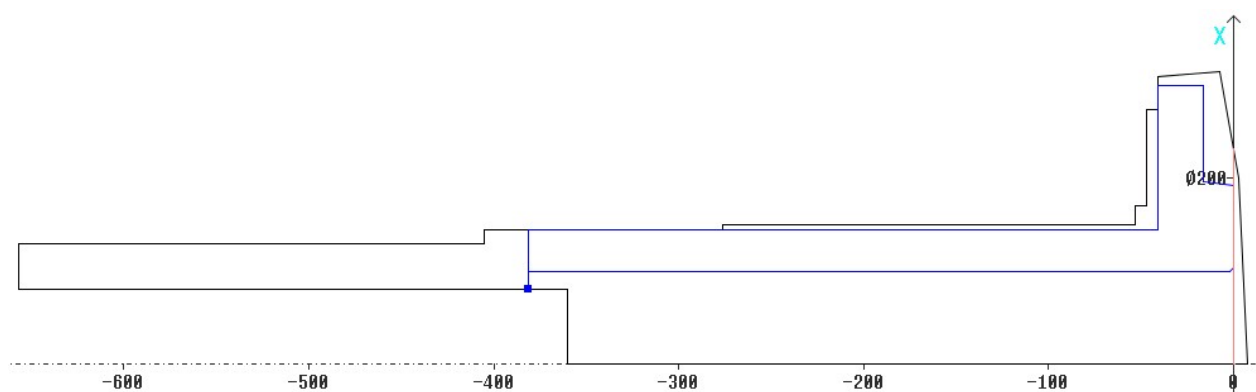
Рисунок 3.3. Інструменти для першого (а) та другого установу (б)

### 3.1.2. Заготовка та готова деталь

Після вибору інструментів визначаємо форми заготовки та готової деталі за допомогою контурів та стандартних елементів на рисунок 3.4. Для цього потрібно вказати координати кінцевих точок, кут нахилу чи довжину.



а)



б)

Рисунок 3.4. Ескіз готової деталі та заготовки на першому (а) та другому (б) установі

Після отримання замкненого контуру необхідно вказати операції які виконуються з заготовкою: точіння, фрезерування, гравірування тощо.

На рисунок 3.5. наведено код, який отримали внаслідок набору контуру готового виробу та заготовки.

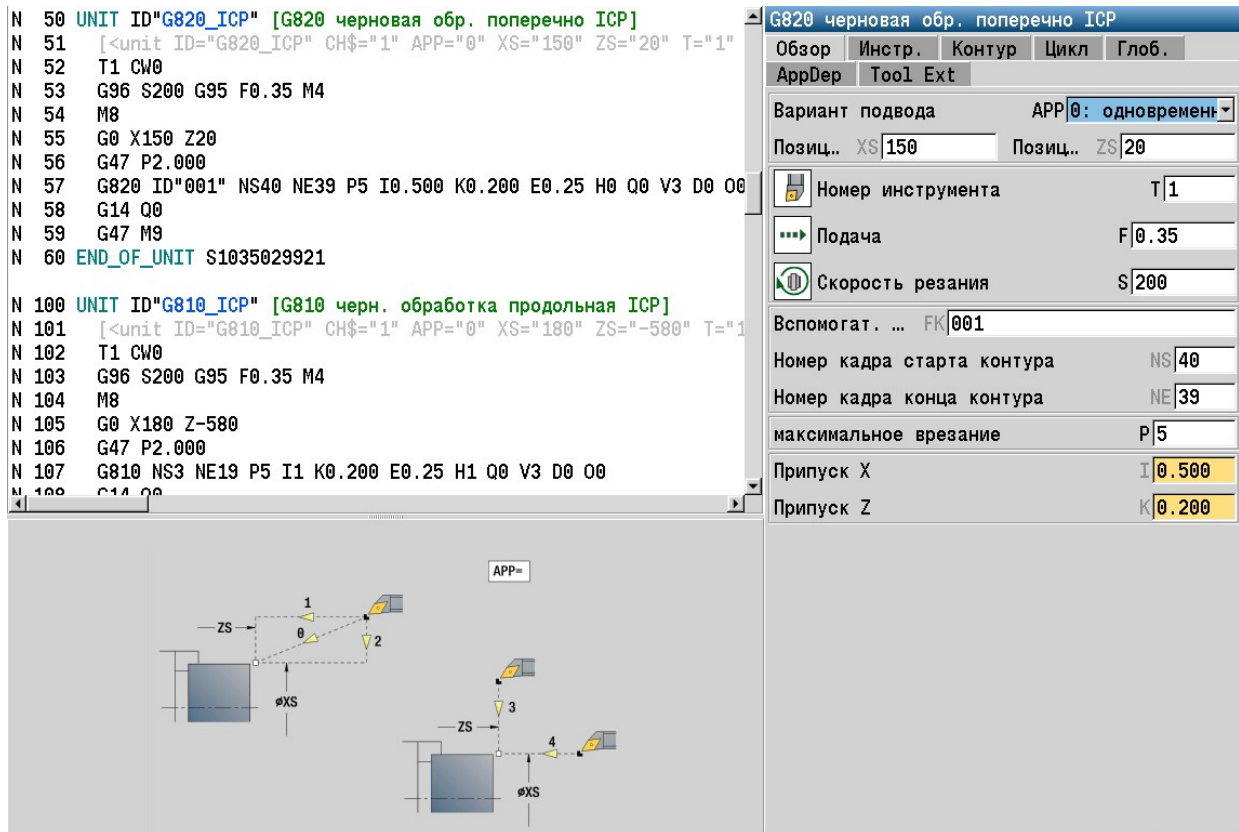
BLANK [ Заготовка ]	FINISHED [ Готовая деталь ]
N 30 G0 X0 Z15	N 1 G0 X80 Z0
N 31 G1 X135 Z3	N 2 G1 X130 BR-2.5
N 32 G1 X180 Z-600	N 3 G1 Z-39 BR-1.49
N 33 G1 X310 Z-610	N 41 G37 Q2 F2 P1.227 A30 W30 R2
N 34 G1 X315 Z-650	N 4 G1 X127
N 35 G1 X200 Z-660	N 5 G1 Z-45
N 36 G1 X0 Z-665	N 6 G1 X130 BR-1.49
N 37 G1 Z15	N 7 G1 Z-252
	N 28 G25 H6 I0.4 K5 R1 P0.3 W19.993 A30
	N 8 G1 X145 BR-2
	N 9 G1 Z-381
	N 10 G1 X150 BR-2
	N 11 G1 Z-418 BR-1.49
	N 42 G37 Q2 F2 P1.227 A30 W30 R2
	N 12 G1 X147
	N 13 G1 Z-424
	N 14 G1 X150 BR-1.49
	N 15 G1 Z-604
	N 29 G25 H6 I0.5 K5 R1 P0.3 W45 A45
	N 16 G1 X170
	N 17 G1 Z-610 BR0.5
	N 18 G1 X275
	N 19 G1 Z-616.5
	N 20 G1 X300
	N 21 G1 Z-641
	N 22 G1 X196.869
	N 23 G1 Z-657
	N 24 G1 X100
	N 25 G1 Z-276
	N 26 G1 X80
	N 27 G1 Z0 BR-4

Рисунок 3.5. Код програми готової деталі та заготовки

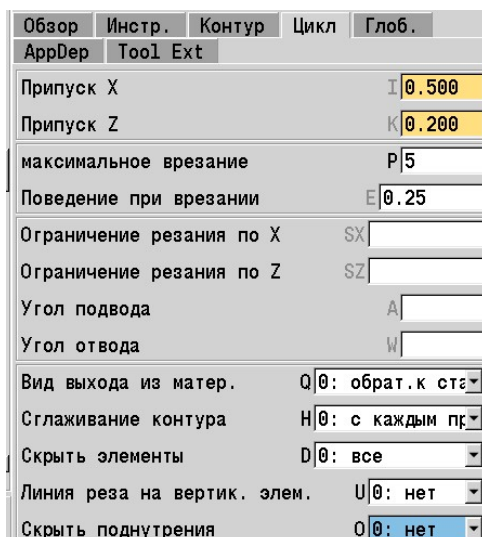
Для другого установу виконаємо симетричне відображення вже існуючого контуру.

### 3.1.3. Оброблення заготовки

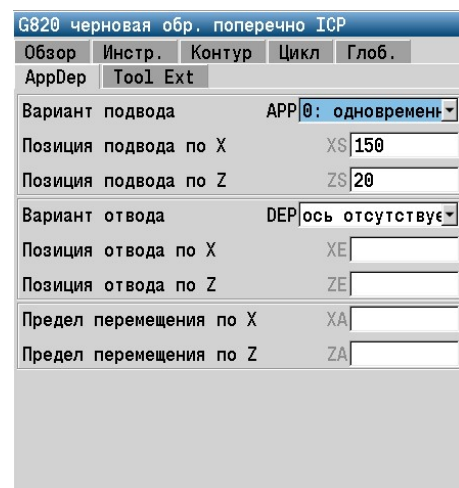
Підрізання торця виконаємо за допомогою інструмента під номером T1, якому відповідає токарний прохідний упорний різець, використавши додатковий контур 001. Параметри даних, які вводяться, подано на рисунок 3.6.



а



б

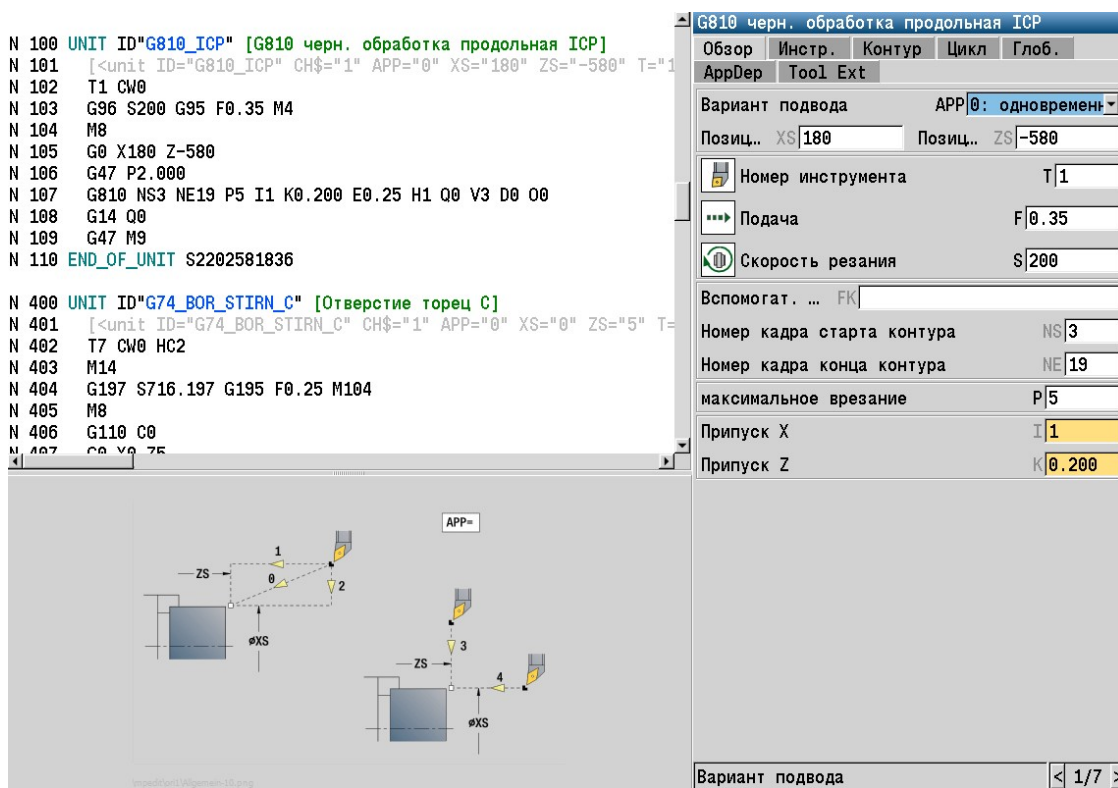


в

Рисунок 3.6. Фрагменты программы при підрізанні торця



Чорнове поздовжнє точіння чорнове виконаємо за рахунок інструменту T2 та, вказавши проміжок кадрів, які необхідно обробити. 3-19 параметри зображено на рисунок 3.7.



а

G810 черн. обработка продольная ICP	
Обзор	Инстр.
AppDep	Tool Ext
Припуск X	I 1
Припуск Z	K 0.200
максимальное врезание	P 5
Поведение при врезании	E 0.25
Ограничение резания по X	SX
Ограничение резания по Z	SZ
Угол подвода	A
Угол отвода	W
Вид выхода из матер.	Q 0: обрат.к ста
Сглаживание контура	H 1: с послед. г
Скрыть элементы	D 0: все
Линия реза на гориз. элем.	U 0: нет
Скрыть поднутрения	O 0: нет

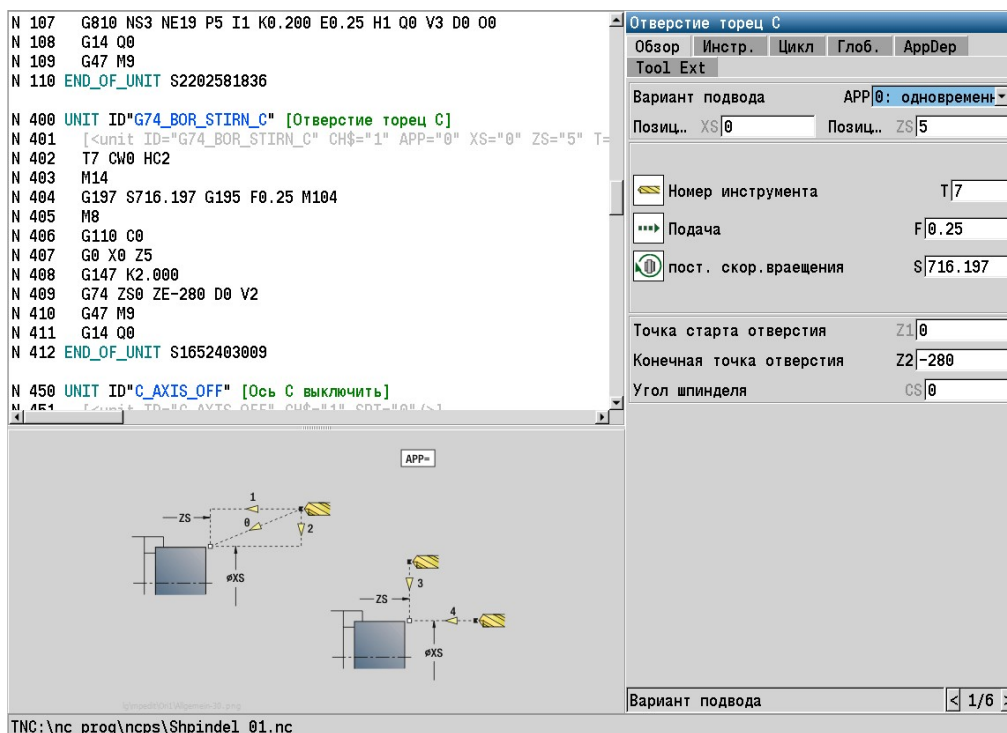
б

G810 черн. обработка продольная ICP	
Обзор	Инстр.
AppDep	Tool Ext
Вариант подвода	APP 0: одновременно
Позиция подвода по X	XS 180
Позиция подвода по Z	ZS -580
Вариант отвода	DEP ось отсутствует
Позиция отвода по X	XE
Позиция отвода по Z	ZE
Предел перемещения по X	XA
Предел перемещения по Z	ZA

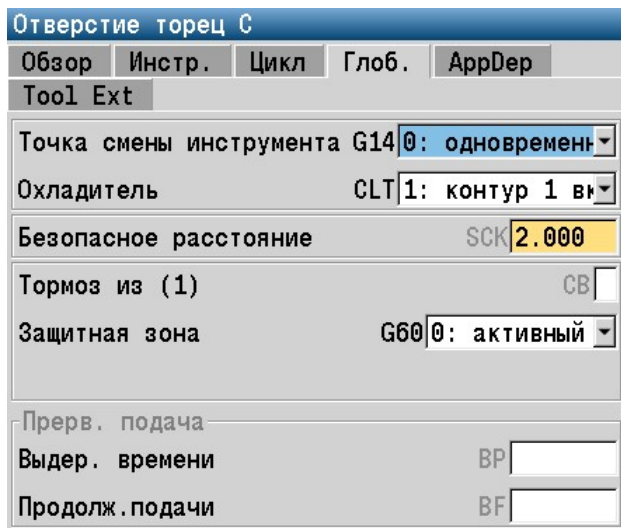
в

Рисунок 3.7. Точіння поздовжнє чорнове

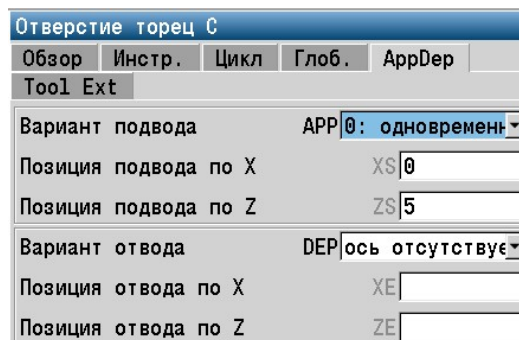
Для отримання наскрізного центрального отвору в шпинделі виконаємо свердління отвору та розточування. Свердління виконується свердлом діаметром 40. Із параметрами наведеними на рисунок 3.8.



а



б

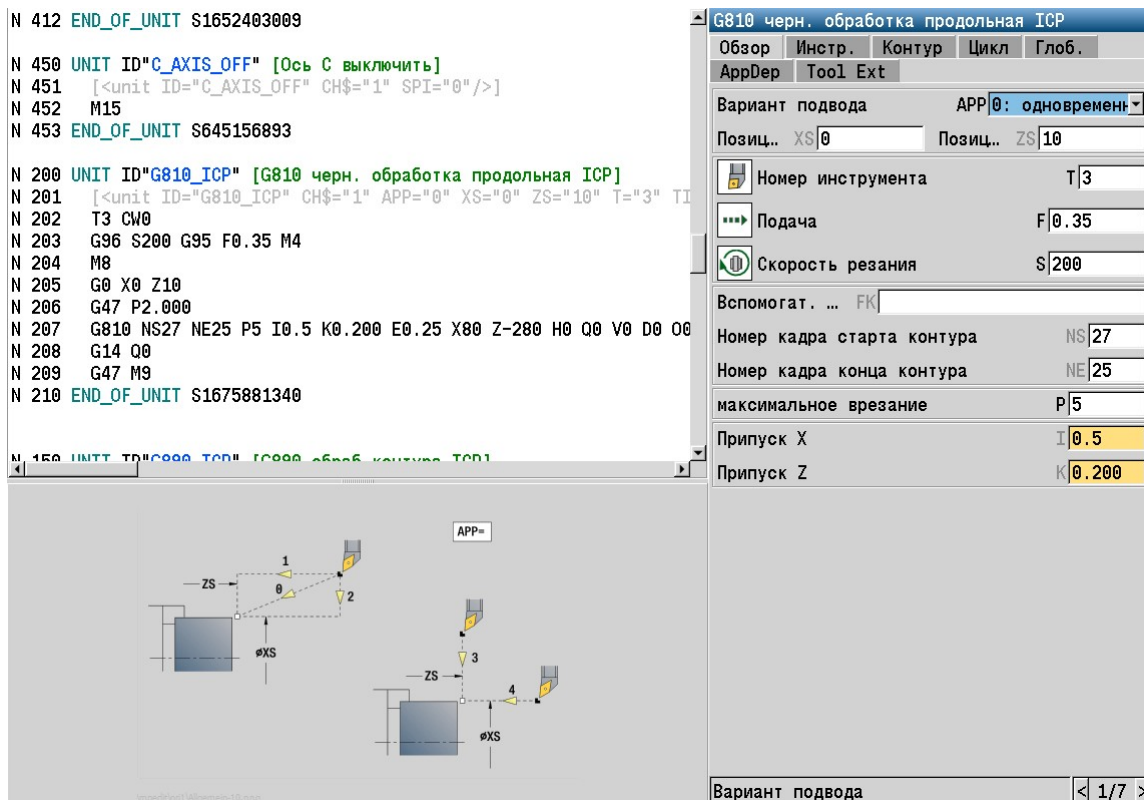


в

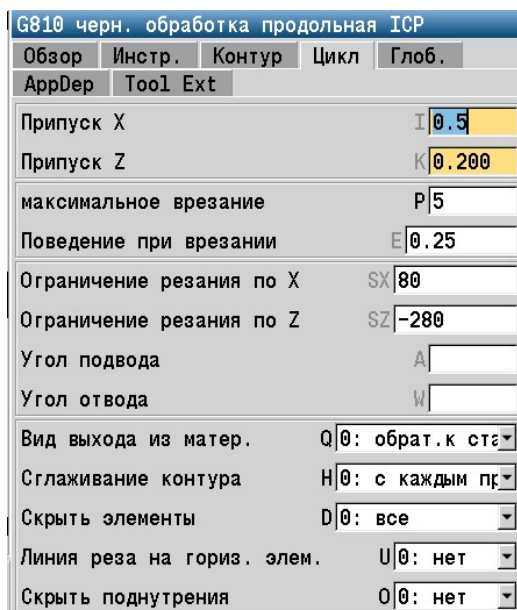
Рисунок 3.8. Свердління отвору

Після даної операції можна виконати чорнове поздовжнє розточування. Для виконання необхідно вимкнути головний рух по вісі С. Параметри даної операції на рисунок 3.9.

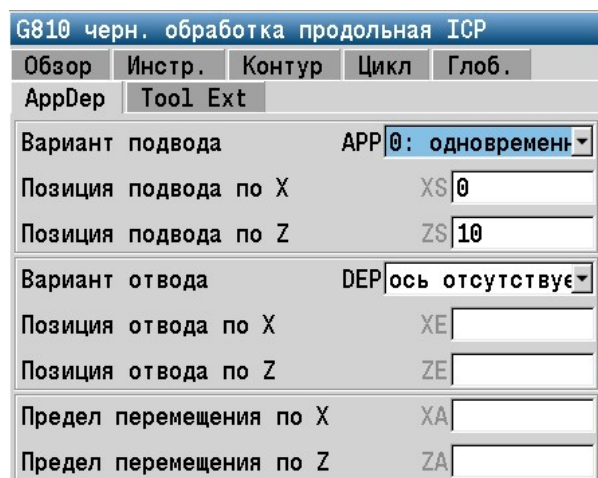




а



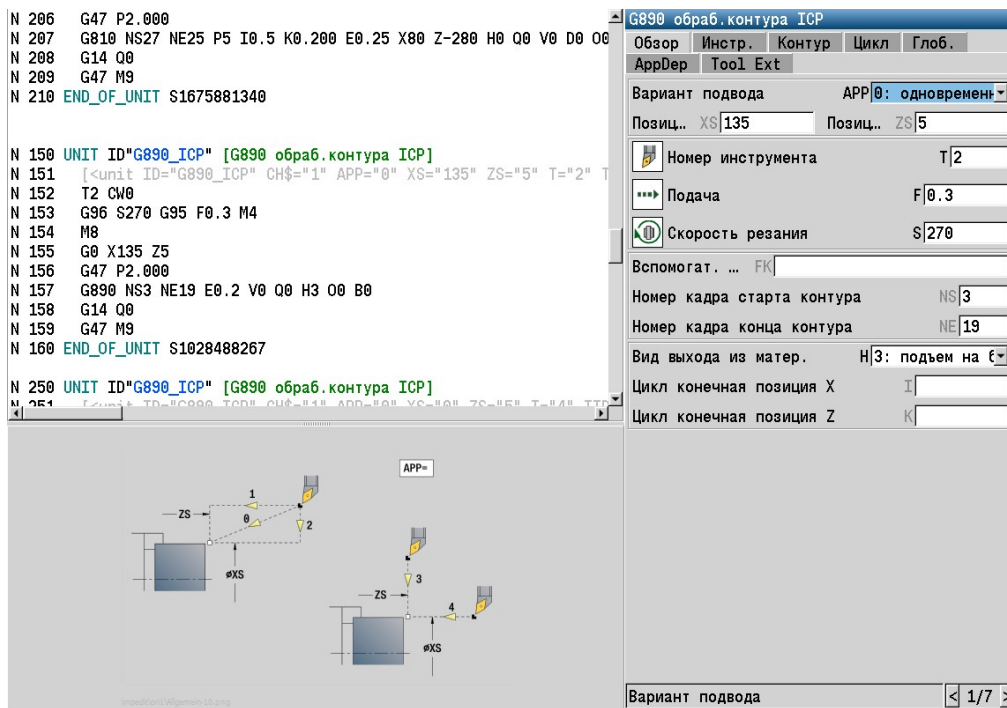
б



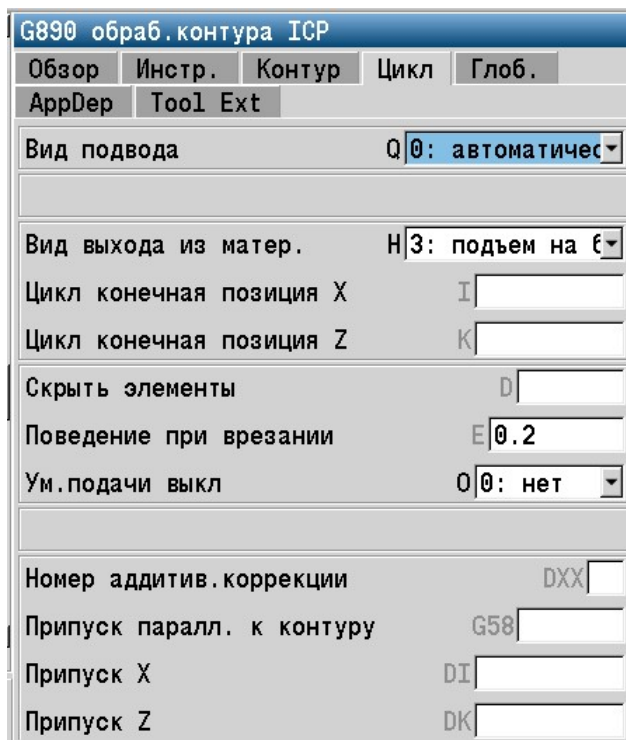
в

Рисунок 3.9. Поздовжнє чорнове розточування

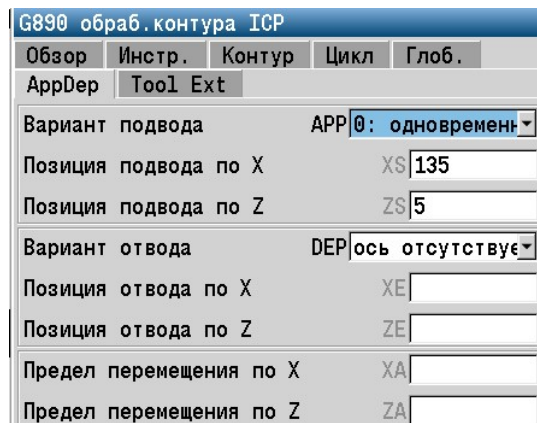
Виконаємо чистове точіння контуру за параметрами на рисунок 3.10.



а



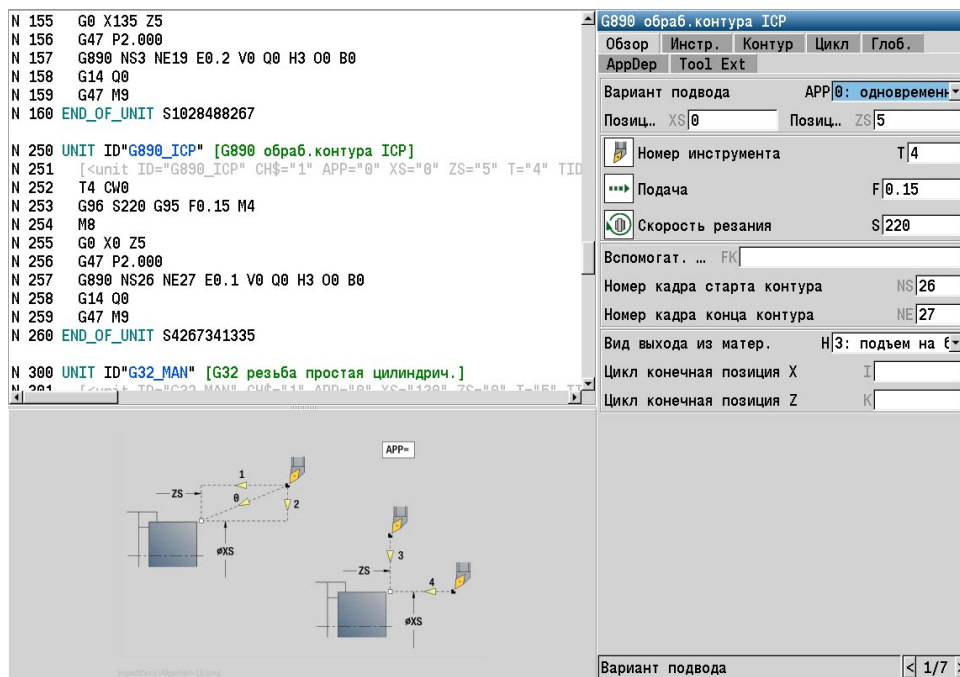
б



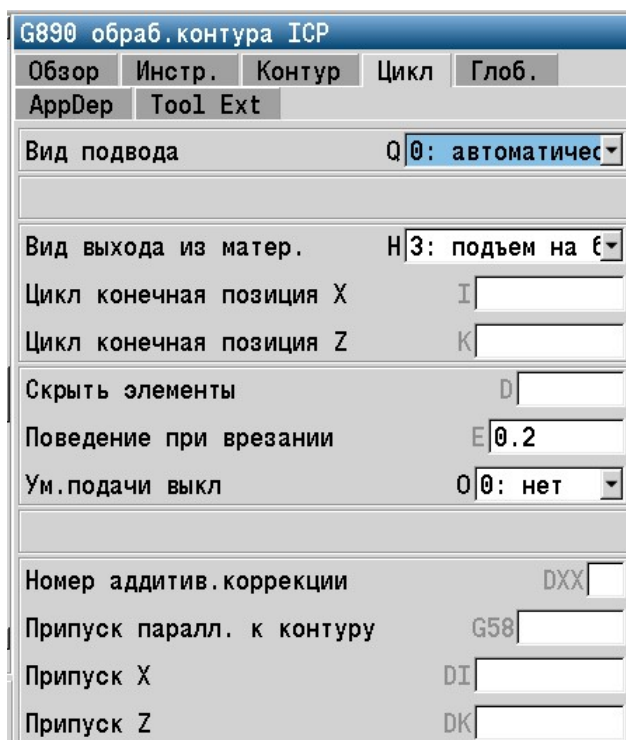
в

Рисунок 3.10. Чистовое точіння контуру

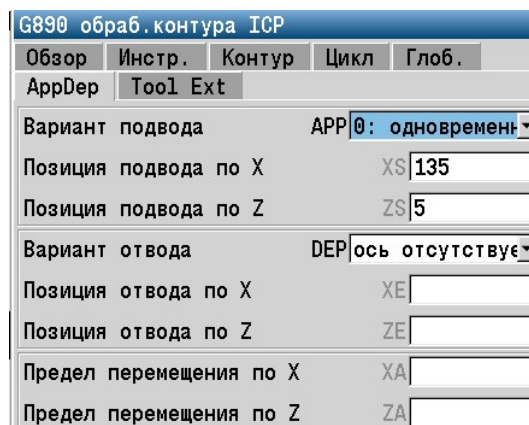
Аналогічно до попереднього оброблення виконаємо начисто розточування отвору. Параметри подано на рисунку 3.11.



а



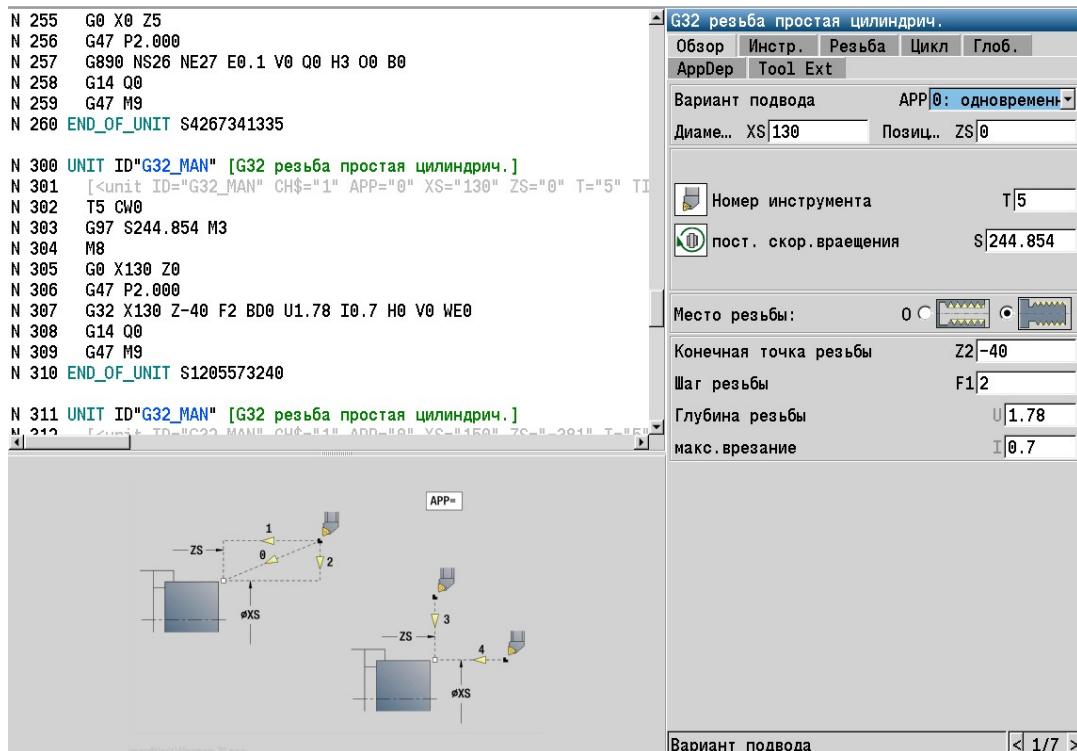
б



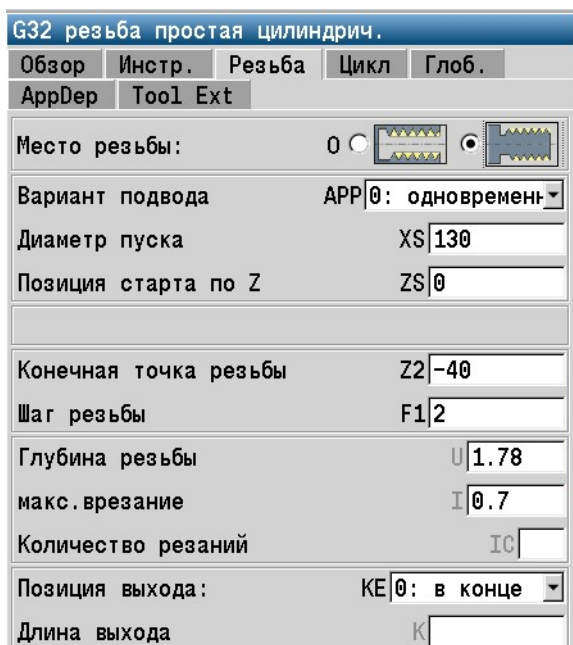
в

Рисунок 3.11. Чистовые розточувания

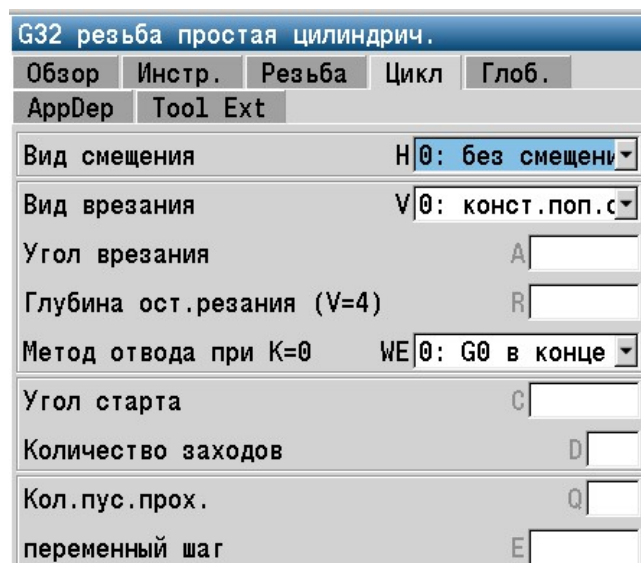
Для нарізання нарізі використовується інструмент T5 для нарізання зовнішніх різей з параметрами поданими на рисунок 3.12. Нарізується різьба M130x2, M145x2.



а



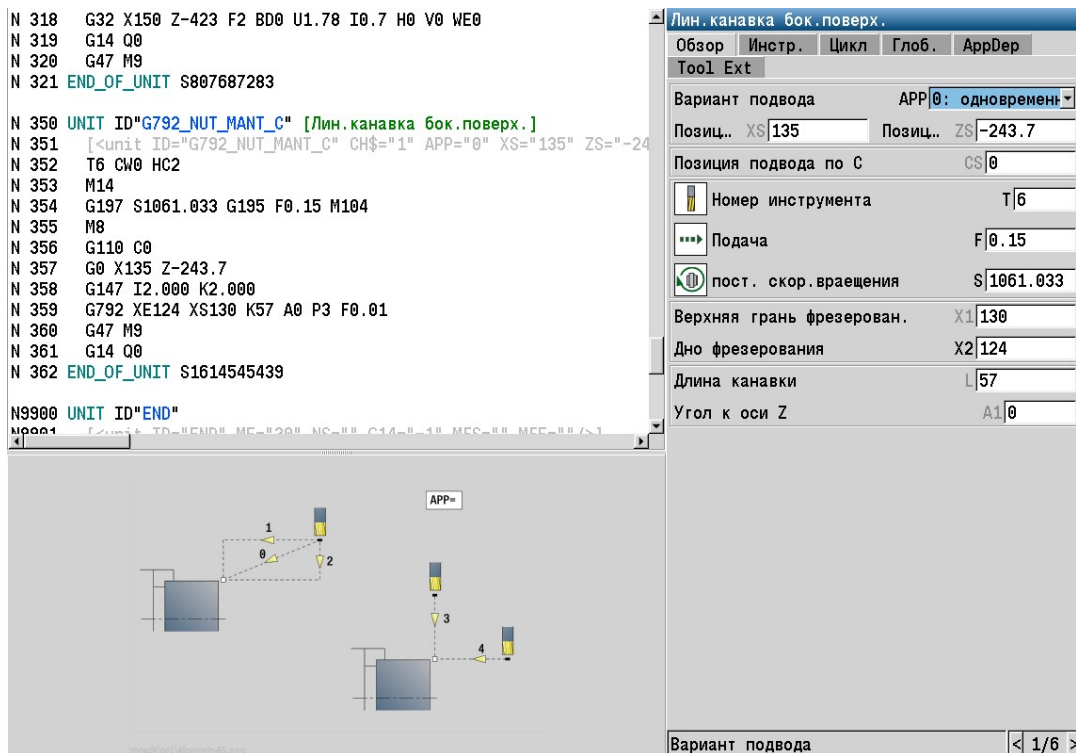
б



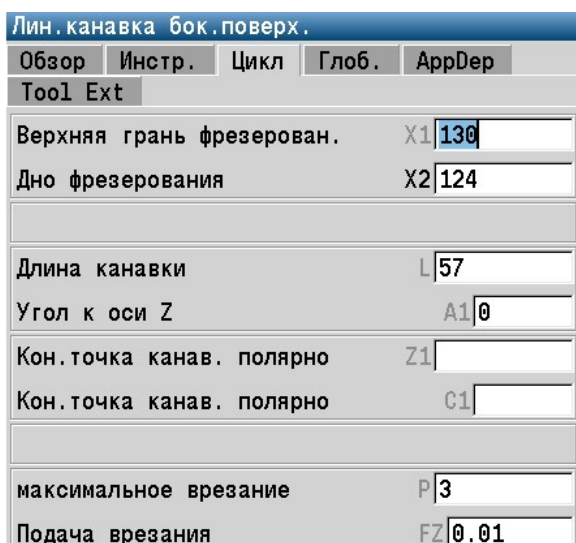
в

Рисунок 3.12. Нарезання різьби

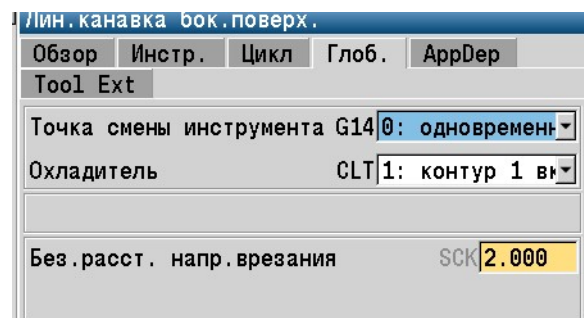
Остаточно виконаємо фрезерування шпоночною фрезой шпоночного пазу на циліндричній поверхні за параметрами, представленими на рисунок 3.13.



а



б



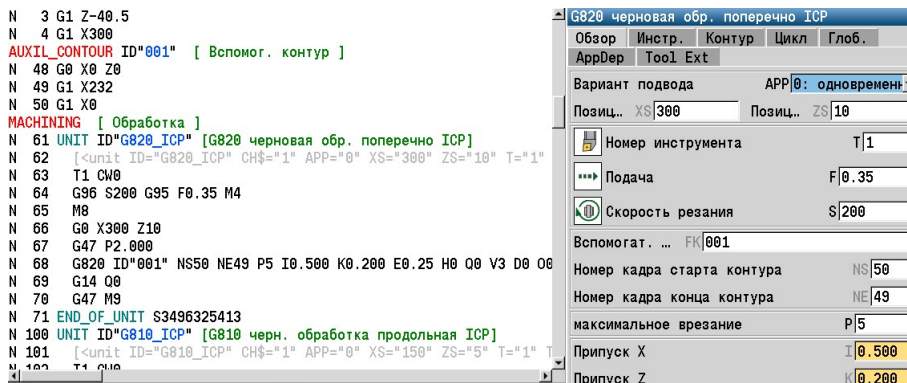
в

Рисунок 3.13. Фрезерування пазу

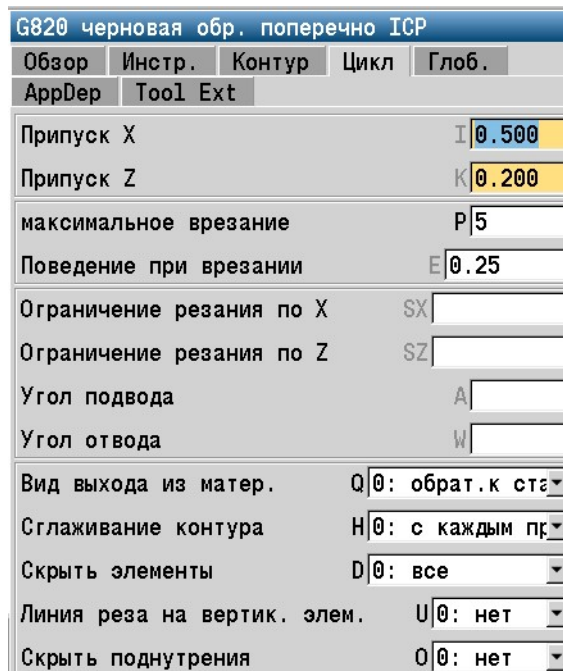
На другому установі деталь також встановлюється в трьохкулачковому патроні.



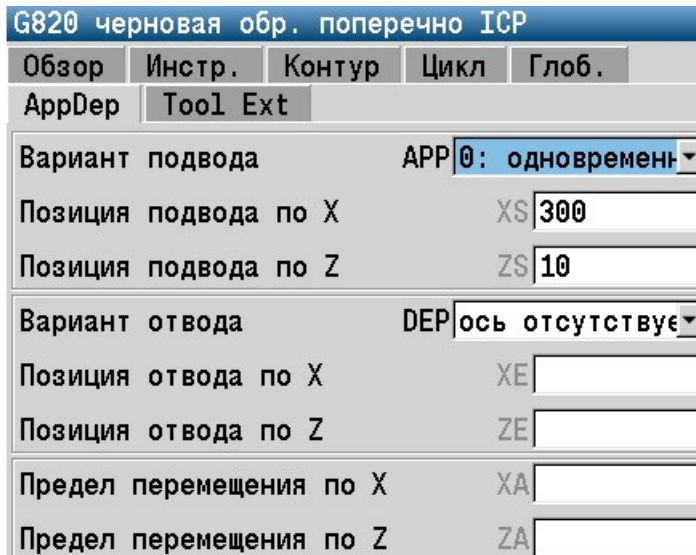
Підрізання торця на другому установі виконаємо за допомогою інструмента під номером T1 (прохідний упорний різець), використавши додатковий контур 002. Параметри даних, які вводяться, подано на рисунок 3.14.



а



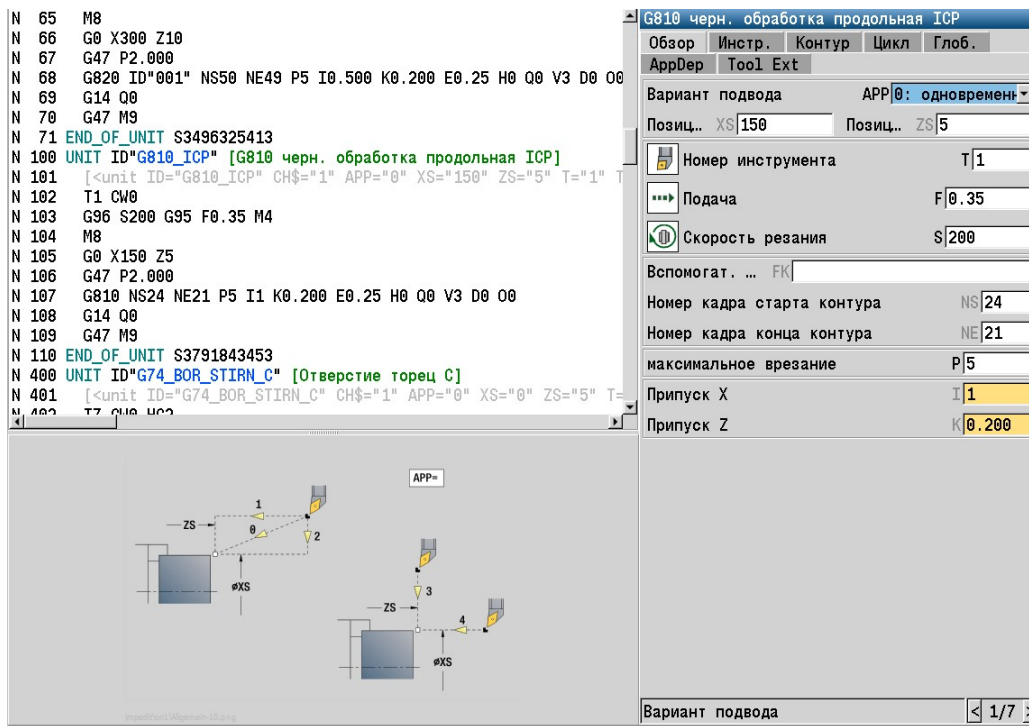
б



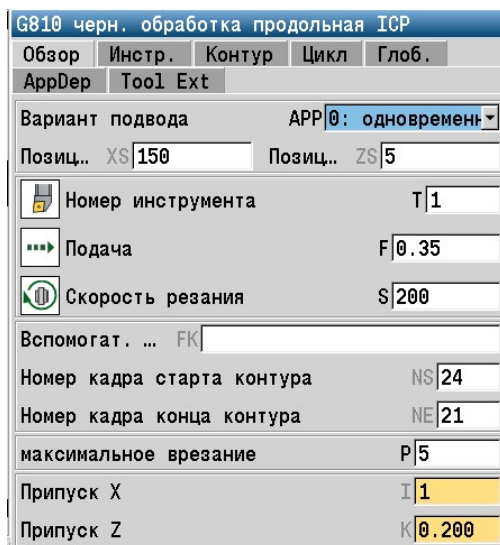
в

Рисунок 3.14. Підрізання торця

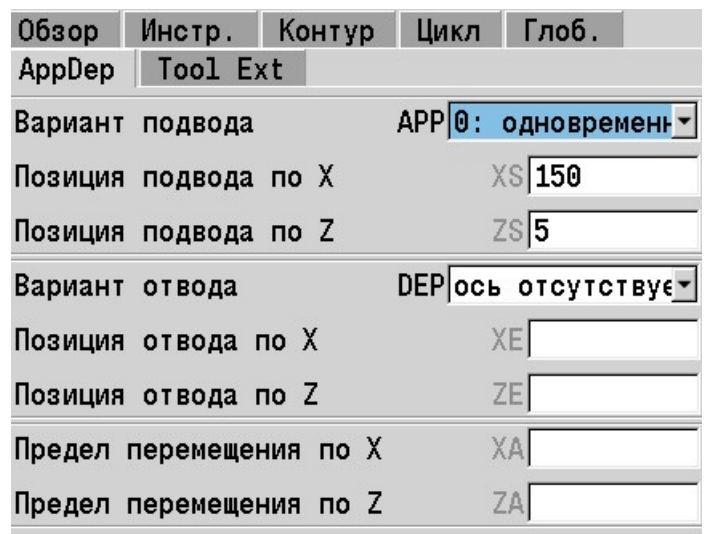
Чорнове поздовжнє точіння виконаємо інструментом T2 (прохідний різець). На рисунку 3.15. представлені кадри програми, які відповідають даному переходу.



а



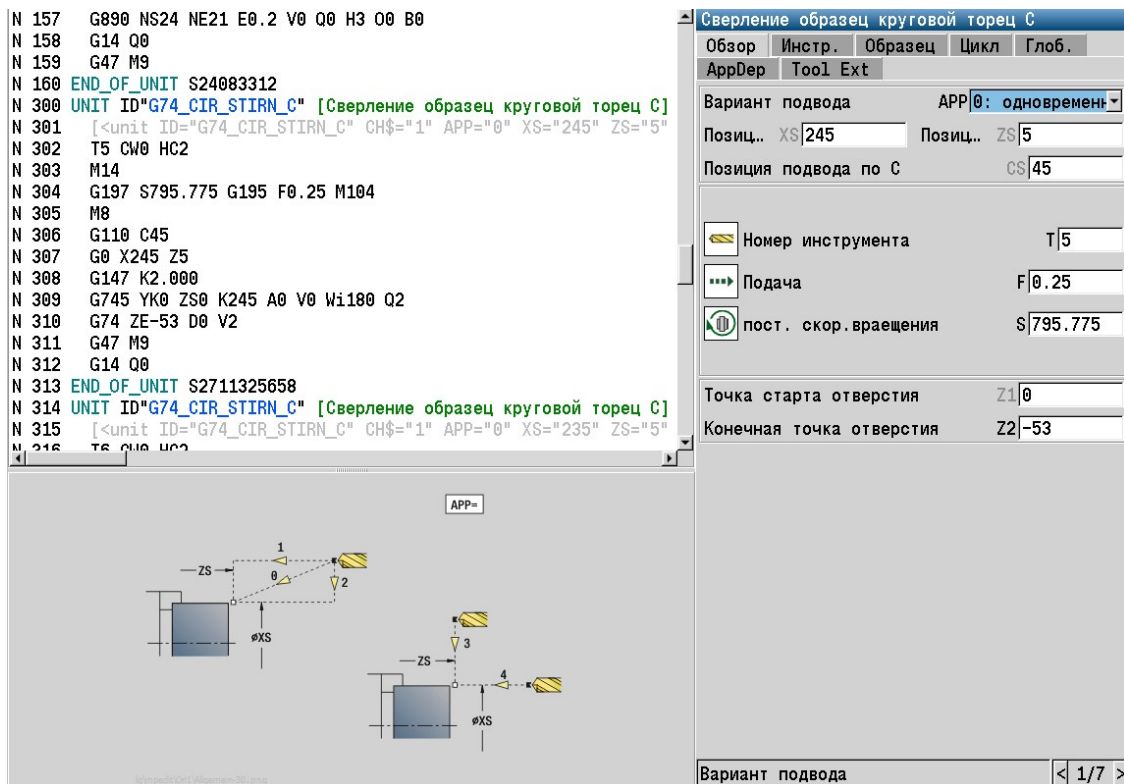
б



в

Рисунок 3.15. Поздовжнє точіння чорнове

Виконаємо свердління отворів, що розташовані на Ø245мм, використовуючи інструмент T5 (свердло спіральне) та схему розташування отворів за кресленням та параметрами, представленими на рисунку 3.16.



а

Сверление образец круговой торец С	
Обзор	Инстр.
AppDer	Tool Ext
Количество отверстий	Q 2
Центр полярно	XM
Центр полярно	CM
Центр декартовый	XK
Центр декартовый	YK 0
Начальный угол	A 0
Инкремент угла	Wi 180
Диаметр образца	K 245
Конечный угол	W
Напр. вращения	VD 0: зав. от W/Wi

б

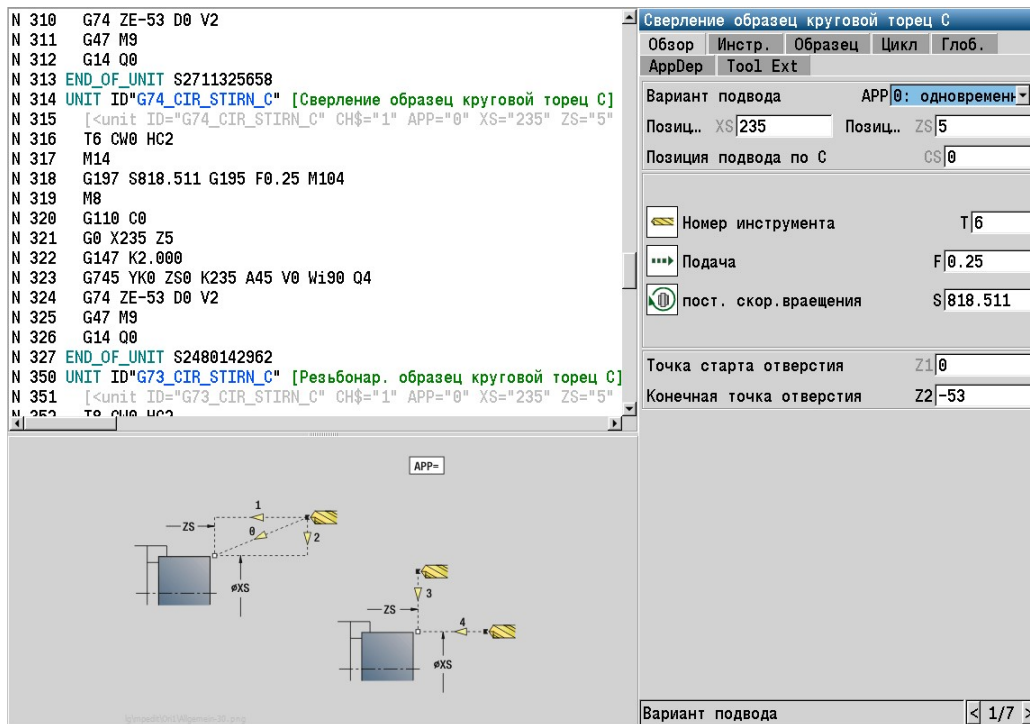
Сверление образец круговой торец С	
Обзор	Инстр.
AppDer	Tool Ext
Точка старта отверстия	Z1 0
Конечная точка отверстия	Z2 -53
Выдержка времени	E
Возврат в	D 0: ускоренно
Уменьшение подачи	V 2: в начале
Центр. / просверление	AB
1-ая глубина сверления	P
Значение редуц. глуб. свер.	IB
миним. глубина сверления	JB
Расст. после отвода	B
Безоп. расстояние	RI
Плоск. отвода	RB

в

Рисунок 3.16. Свердління групи отворів

Виконаємо свердління отворів, що розташовані на Ø245мм, використовуючи інструмент Т6 (свердло спіральне) та схему розташування отворів за кресленням та параметрами, представленими на рисунку 3.17.





а

Сверление образец круговой торец C	
Обзор	Инстр.
AppDep	Tool Ext
Количество отверстий	Q 2
Центр полярно	XM
Центр полярно	CM
Центр декартовый	XK
Центр декартовый	YK 0
Начальный угол	A 0
Инкремент угла	W1 180
Диаметр образца	K 245
Конечный угол	W
Напр. вращения	VD 0: зав. от W/Wi

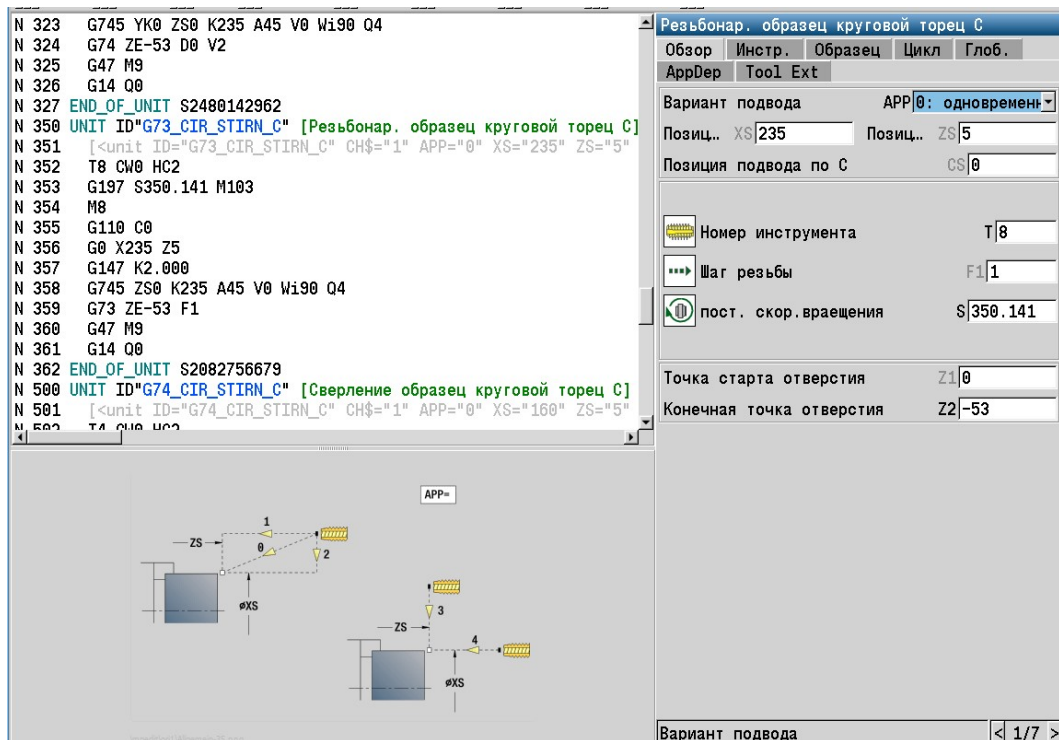
б

Сверление образец круговой торец C	
Обзор	Инстр.
AppDep	Tool Ext
Точка старта отверстия	Z1 0
Конечная точка отверстия	Z2 -53
Выдержка времени	E
Возврат в	D 0: ускоренн
Уменьшение подачи	V 2: в начале
Центр. / просверление	AB
1-ая глубина сверления	P
Значение редуц. глуб. свер.	IB
миним. глубина сверления	JB
Расст. после отвода	B
Безоп. расстояние	RI
Плоск. отвода	RB

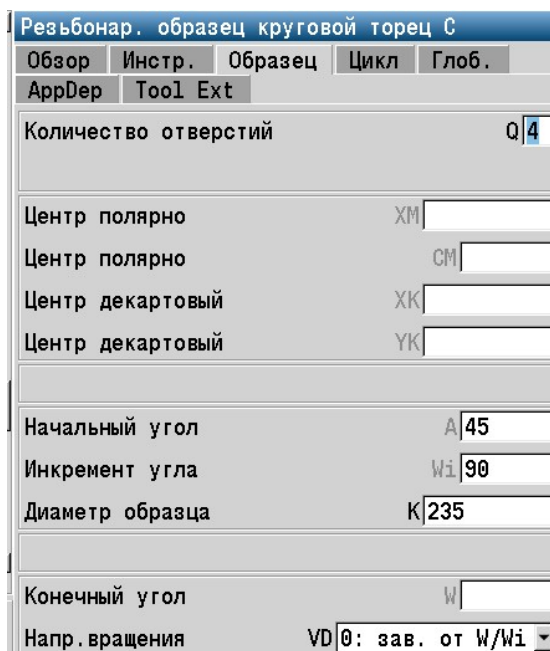
в

Рисунок 3.17. Свердління групи отворів

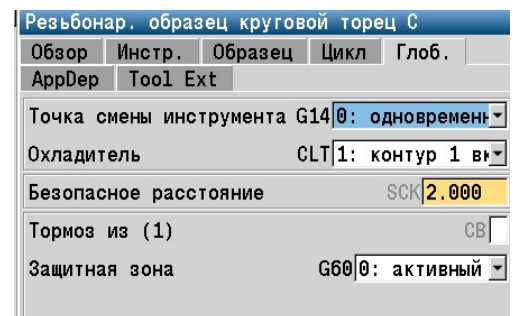
Нарізання нарізі в попередньо просвердлених отворах мітчиком T8 за схемою та параметрами представлено на рисунку 3.18.



а



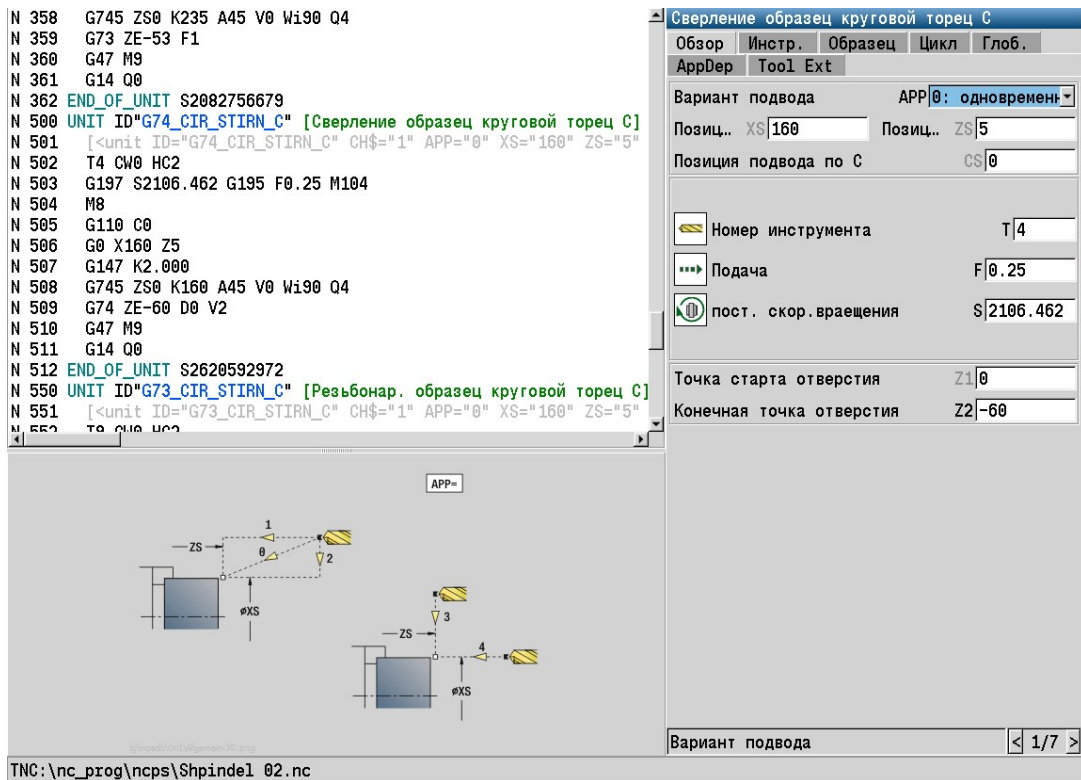
б



в

Рисунок 3.18. Нарезання нарізі в отворах

Виконаємо свердління отворів на Ø235, використовуючи інструмент T4 та схему розташування отворів за кресленням та параметрами, обраними за рисунку 3.19.



а

Сверление образец круговой торец С	
Обзор	Инстр.
Образец	Цикл
Глоб.	Глоб.
AppDep	Tool Ext
Количество отверстий	Q 4
Центр полярно	XM
Центр полярно	CM
Центр декартовый	XK
Центр декартовый	YK
Начальный угол	A 45
Инкремент угла	Wi 90
Диаметр образца	K 160
Конечный угол	W
Напр. вращения	VD 0: зав. от W/Wi

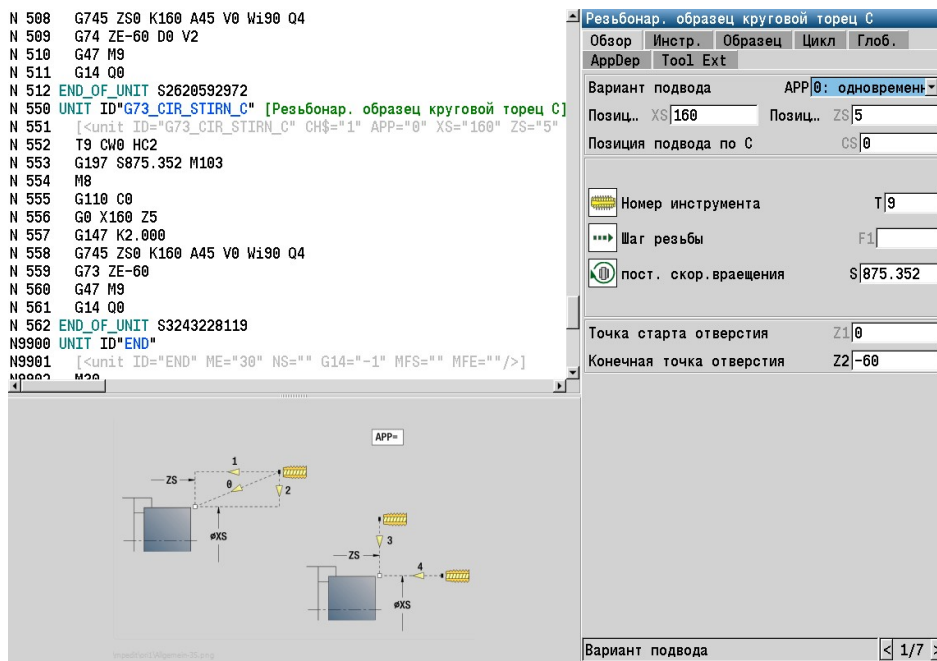
б

Сверление образец круговой торец С	
Обзор	Инстр.
Образец	Цикл
Глоб.	Глоб.
AppDep	Tool Ext
Точка старта отверстия	Z1 0
Конечная точка отверстия	Z2 -60
Выдержка времени	E
Возврат в	D 0: ускоренно
Уменьшение подачи	V 2: в начале
Центр. / просверление	AB
1-ая глубина сверления	P
Значение редуц. глуб. свер.	IB
миним. глубина сверления	JB
Расст. после отвода	B
Безоп. расстояние	RI
Плоск. отвода	RB

в

Рисунок 3.19. Сверління групи отворів

Нарізання нарізі в попередньо просвердлених отворах мітчиком T10 за схемою та параметрами на рисунку 3.20.



а

Резьбонар. образец круговой торец C

Обзор Инстр. Образец Цикл Глоб.

AppDer Tool Ext

Количество отверстий Q[4]

Центр полярно XM  
 Центр полярно CM  
 Центр декартовый XK  
 Центр декартовый YK

Начальный угол A[45]  
 Инкремент угла Wi[90]  
 Диаметр образца K[160]

Конечный угол W  
 Напр. вращения VD[0: зав. от W/Wi]

б

Резьбонар. образец круговой торец C

Обзор Инстр. Образец Цикл Глоб.

AppDer Tool Ext

Точка смены инструмента G14[0: одновременн

Охлаждитель CLT[1: контур 1 в

Безопасное расстояние SCK[2.000]

Тормоз из (1) CB

Защитная зона G60[0: активный]

в

Рисунок 3.20. Нарезання нарізі в отворі

### 3.2. Результат програмування

Результатом програмування є отримання програми обробки деталі «Шпиндель», закріпленої в трьохкулачковому патроні за два установи.

Навчальна версія програми HeidenHain обмежена в кількості кадрів програми числом 100. Тому керуюча програма, представлена в даній роботі є неповною.

Результати обробки деталі «Шпиндель» за програмою, зображені на рисунках 3.21.

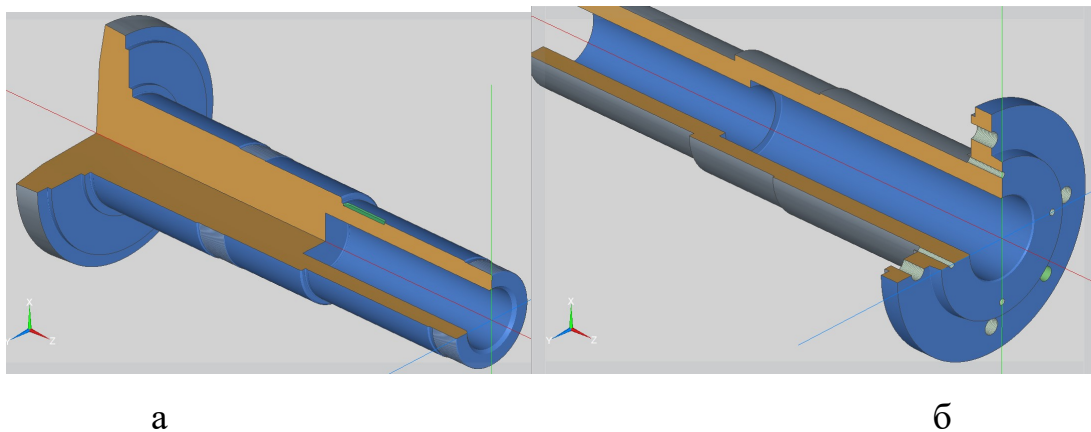
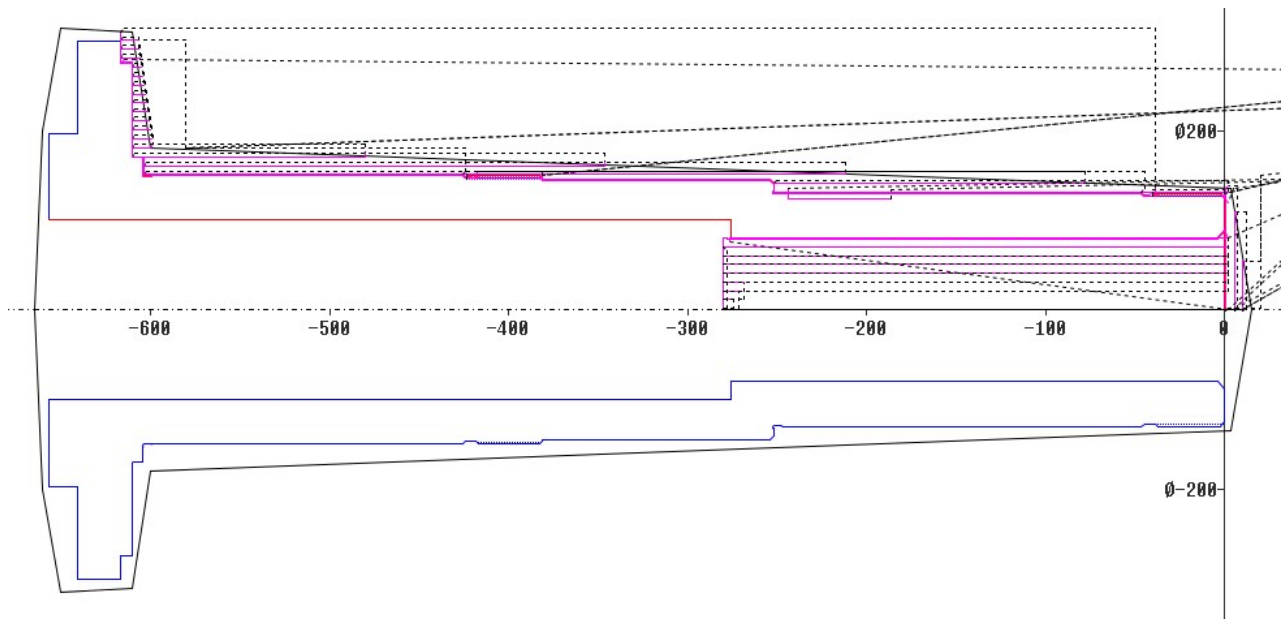
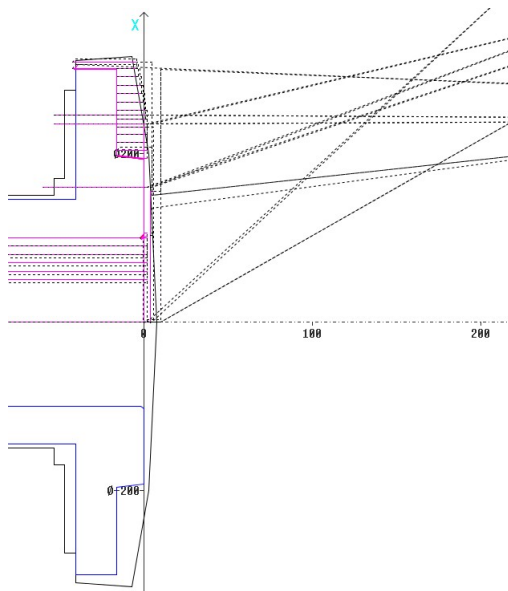


Рисунок 3.21. Готова деталь на даному етапі виробництва 3D: а) - перший установ, б) - другий установ

На площину XZ траєкторії руху інструменту при обробці проєктуються в вигляді ліній, представлених на рисунку 3.22.



а



б

Рисунок 3.22. Проекція траєкторій руху інструменту на площину XZ: а) - перший устанюв, б) - другий устанюв

Повний код, який був отриманий внаслідок побудови технологічного процесу, подано нижче:

а) Перший устанюв



%Spindel 01.nc "TURN\_V1.0"

HEADER [ Заголовок программы ]  
#MEASURE\_UNITS METRIC [ ЕДИНИЦА ]  
#MATERIAL Stahl [ МАТЕРИАЛ ]

TURRET [ Революционная головка ]

T1 ID"A-SCHR-55-08-G"  
T2 ID"A-SCHL-35-04"  
T3 ID"I-SCHR-55-08"  
T4 ID"I-SCHL-35-04"  
T5 ID"I-GEW-20"  
T6 ID"M-FRAES-16-25G"  
T7 ID"S-BOHR-6.8-40"

Spindel 01.nc Spindel 02.nc

N 37 G1 Z15

FINISHED [ Готовая деталь ]

N 1 G0 X80 Z0  
N 2 G1 X130 BR-2.5  
N 3 G1 Z-39 BR-1.49  
N 41 G37 Q2 F2 P1.227 A30 W30 R2  
N 4 G1 X127  
N 5 G1 Z-45  
N 6 G1 X130 BR-1.49  
N 7 G1 Z-252  
N 28 G25 H6 I0.4 K5 R1 P0.3 W19.993 A  
N 8 G1 X145 BR-2  
N 9 G1 Z-381  
N 10 G1 X150 BR-2  
N 11 G1 Z-418 BR-1.49  
N 42 G37 Q2 F2 P1.227 A30 W30 R2  
N 12 G1 X147  
N 13 G1 Z-424  
N 14 G1 X150 BR-1.49  
N 15 G1 Z-604  
N 29 G25 H6 I0.5 K5 R1 P0.3 W45 A45  
N 16 G1 X170  
N 17 G1 Z-610 BR0.5  
N 18 G1 X275

CLAMPS [ Зажимные присп. ]

CLAMPS 2 [ Зажимные присп. ]

BLANK [ Заготовка ]

N 30 G0 X0 Z15  
N 31 G1 X135 Z3  
N 32 G1 X180 Z-600  
N 33 G1 X310 Z-610  
N 34 G1 X315 Z-650  
N 35 G1 X200 Z-660  
N 36 G1 X0 Z-665  
N 37 G1 Z15

N 1 G0 X80 Z0  
N 2 G1 X130 BR-2.5  
N 3 G1 Z-39 BR-1.49  
N 41 G37 Q2 F2 P1.227 A30 W30 R2  
N 4 G1 X127  
N 5 G1 Z-45  
N 6 G1 X130 BR-1.49  
N 7 G1 Z-252  
N 28 G25 H6 I0.4 K5 R1 P0.3 W19.993 A30  
N 8 G1 X145 BR-2  
N 9 G1 Z-381  
N 10 G1 X150 BR-2  
N 11 G1 Z-418 BR-1.49  
N 42 G37 Q2 F2 P1.227 A30 W30 R2  
N 12 G1 X147  
N 13 G1 Z-424  
N 14 G1 X150 BR-1.49  
N 15 G1 Z-604  
N 29 G25 H6 I0.5 K5 R1 P0.3 W45 A45  
N 16 G1 X170  
N 17 G1 Z-610 BR0.5  
N 18 G1 X275  
N 19 G1 Z-616.5  
N 20 G1 X300  
N 21 G1 Z-641  
N 22 G1 X196.869  
N 23 G1 Z-657  
N 24 G1 X100  
N 25 G1 Z-276  
N 26 G1 X80  
N 27 G1 Z0 BR-4

AUXIL\_CONTOUR ID"001" [ Вспомог. контур ]

N 38 G0 X0 Z0  
N 39 G1 X130  
N 40 G1 X0

N 50 UNIT ID"G820\_ICP" [G820 черновая обр. поперечно ICP]  
N 51 [N 52 T1 CW0  
N 53 G96 S200 G95 F0.35 M4  
N 54 M8  
N 55 G0 X150 Z20  
N 56 G47 P2.000  
N 57 G820 ID"001" NS40 NE39 P5 I0.500 K0.200 E0.25 H0 Q0 V3 D0 O0  
N 58 G14 Q0  
N 59 G47 M9  
N 60 END\_OF\_UNIT S1035029921

N 100 UNIT ID"G810\_ICP" [G810 черн. обработка продольная ICP]  
N 101 [N 102 T1 CW0  
N 103 G96 S200 G95 F0.35 M4  
N 104 M8  
N 105 G0 X180 Z-580  
N 106 G47 P2.000  
N 107 G810 NS3 NE19 P5 I1 K0.200 E0.25 H1 Q0 V3 D0 O0  
N 108 G14 Q0  
N 109 G47 M9  
N 110 END\_OF\_UNIT S2202581836

N 400 UNIT ID"G74 BOR-STIRN\_C" [Отверстие торец C]  
N 401 [N 402 T7 CW0 HC2  
N 403 M14  
N 404 G197 S716.197 G195 F0.25 M104  
N 405 M8  
N 406 G110 C0  
N 407 G0 X0 Z5  
N 408 G147 K2.000  
N 409 G74 ZS0 ZE-280 D0 V2

N 251 [N 252 T4 CW0  
N 253 G96 S220 G95 F0.15 M4  
N 254 M8  
N 255 G0 X0 Z5  
N 256 G47 P2.000  
N 257 G890 NS26 NE27 E0.1 V0 Q0 H3 O0 B0  
N 258 G14 Q0  
N 259 G47 M9  
N 260 END\_OF\_UNIT S4267341335

N 300 UNIT ID"G32\_MAN" [G32 резьба простая цилиндрич.]  
N 301 [N 302 T5 CW0  
N 303 G97 S244.854 M3  
N 304 M8  
N 305 G0 X130 Z0  
N 306 G47 P2.000  
N 307 G32 X130 Z-40 F2 BD0 U1.78 I0.7 H0 V0 WE0  
N 308 G14 Q0  
N 309 G47 M9  
N 310 END\_OF\_UNIT S1205573240

N 311 UNIT ID"G32\_MAN" [G32 резьба простая цилиндрич.]  
N 312 [N 313 T5 CW0  
N 314 G97 S244.854 M3  
N 315 M8  
N 316 G0 X150 Z-381  
N 317 G47 P2.000  
N 318 G32 X150 Z-423 F2 BD0 U1.78 I0.7 H0 V0 WE0  
N 319 G14 Q0  
N 320 G47 M9  
N 321 END\_OF\_UNIT S807687283

N 409 G74 ZS0 ZE-280 D0 V2  
N 410 G47 M9  
N 411 G14 Q0  
N 412 END\_OF\_UNIT S1652403009

N 450 UNIT ID"C\_AXIS\_OFF" [Ось C выключить]  
N 451 [N 452 M15  
N 453 END\_OF\_UNIT S645156893

N 200 UNIT ID"G810\_ICP" [G810 черн. обработка прод  
N 201 [N 202 T3 CW0  
N 203 G96 S200 G95 F0.35 M4  
N 204 M8  
N 205 G0 X0 Z10  
N 206 G47 P2.000  
N 207 G810 NS27 NE25 P5 I0.5 K0.200 E0.25 X80 Z-2  
N 208 G14 Q0  
N 209 G47 M9  
N 210 END\_OF\_UNIT S1675881340

N 150 UNIT ID"G890\_ICP" [G890 обраб.контюра ICP]  
N 151 [

N 351 [N 352 T6 CW0 HC2  
N 353 M14  
N 354 G197 S1061.033 G195 F0.15 M104  
N 355 M8  
N 356 G110 C0  
N 357 G0 X135 Z-243.7  
N 358 G147 I2.000 K2.000  
N 359 G792 XE124 XS130 K57 A0 P3 F0.01  
N 360 G47 M9  
N 361 G14 Q0  
N 362 END\_OF\_UNIT S1614545439

N9900 UNIT ID"END"  
N9901 [N9902 M30  
N9903 END\_OF\_UNIT

END



## б) Другой установ

```
%Shpindel 02.nc "TURN_V1.0"
HEADER [ Заголовок программы ]
#MEASURE_UNITS METRIC [ ЕДИНИЦА ]
#MATERIAL Stahl [ МАТЕРИАЛ ]
TURRET [ Револьверная головка ]
T1 ID"A-SCHR-55-08-G"
T2 ID"A-SCHL-35-04"
T3 ID"I-SCHR-55-08"
T4 ID"S-BOHR-6-40"
T5 ID"M-BOHR-5.2-20"
T6 ID"S-BOHR-6.5-40"
T7 ID"S-BOHR-6.8-40"
T8 ID"M-GEWB-M6x1"
T9 ID"S-GEWB-M8-1.25"
T10 ID"M-FRAES-6-25G"

CLAMPS [ Зажимные присп. ]
CLAMPS 2 [ Зажимные присп. ]
BLANK [ Заготовка ]
N 30 G0 X310 Z-40.5
N 34 G1 X315 Z-7
N 35 G1 X200 Z3
N 36 G1 X0 Z8
N 31 G1 Z-360
N 32 G1 X80
N 33 G1 Z-657
N 37 G1 X130
N 38 G1 Z-405
N 39 G1 X145
N 40 G1 Z-276
N 41 G1 X150
N 42 G1 Z-53
N 43 G1 X170
N 44 G1 Z-47
```

```
N 102 T1 CW0
N 103 G96 S200 G95 F0.35 M4
N 104 M8
N 105 G0 X150 Z5
N 106 G47 P2.000
N 107 G810 NS24 NE21 P5 I1 K0.200 E0.25 H0
N 108 G14 Q0
N 109 G47 M9
N 110 END_OF_UNIT S3791843453
N 400 UNIT ID"G74_BOR_STIRN_C" [Отверстие top
N 401 [<unit ID="G74_BOR_STIRN_C" CH$="1" A
N 402 T7 CW0 HC2
N 403 M14
N 404 G197 S716.197 G195 F0.25 M104
N 405 M8
N 406 G110 C0
N 407 G0 X0 Z5
N 408 G147 K2.000
N 409 G74 ZS0 ZE-380 D0 V2
N 410 G47 M9
N 411 G14 Q0
N 412 END_OF_UNIT S935464481
N 450 UNIT ID"C_AXIS_OFF" [Ось C выключить]
N 451 [<unit ID="C_AXIS_OFF" CH$="1" SPI="0
N 452 M15
N 453 END_OF_UNIT S645156893
N 200 UNIT ID"G810_ICP" [G810 черн. обработка
N 201 [<unit ID="G810_ICP" CH$="1" APP="0"
N 202 T3 CW0
N 203 G96 S200 G95 F0.35 M4
N 204 M8
N 205 G0 X0 Z10
N 206 G47 P2.000
N 207 G810 NS24 NE26 P5 I0 K0 E0.25 X105 H0
```

N 45 G1 X275  
 N 46 G1 Z-40.5  
 N 47 G1 X310  
 FINISHED [ Готовая деталь ]  
 N 1 G0 X300 Z-40.5  
 N 21 G1 Z-16  
 N 22 G1 X196.869  
 N 23 G1 X192.8492 Z0  
 N 24 G1 X100 BR-1.6  
 N 25 G1 Z-381  
 N 26 G1 X80  
 N 2 G1 X145  
 N 3 G1 Z-40.5  
 N 4 G1 X300  
 AUXIL\_CONTOUR ID="001" [ Вспомог. контур ]  
 N 48 G0 X0 Z0  
 N 49 G1 X232  
 N 50 G1 X0  
 MACHINING [ Обработка ]  
 N 61 UNIT ID"G820\_ICP" [G820 черновая обр. поперечно ICP]  
 N 62 [<unit ID="G820\_ICP" CH\$="1" APP="0" XS="300" ZS="10"  
 N 63 T1 CW0  
 N 64 G96 S200 G95 F0.35 M4  
 N 65 M8  
 N 66 G0 X300 Z10  
 N 67 G47 P2.000  
 N 68 G820 ID"001" NS50 NE49 P5 I0.500 K0.200 E0.25 H0 Q0 V3  
 N 69 G14 Q0  
 N 70 G47 M9  
 N 71 END\_OF\_UNIT S3496325413  
 N 100 UNIT ID"G810\_ICP" [G810 черн. обработка продольная ICP]  
 N 101 [<unit ID="G810\_ICP" CH\$="1" APP="0" XS="150" ZS="5" T  
 N 102 T1 CW0

N 318 G197 S818.511 G195 F0.25 M104  
 N 319 M8  
 N 320 G110 C0  
 N 321 G0 X235 Z5  
 N 322 G147 K2.000  
 N 323 G745 YK0 ZS0 K235 A45 V0 Wi90 Q4  
 N 324 G74 ZE-53 D0 V2  
 N 325 G47 M9  
 N 326 G14 Q0  
 N 327 END\_OF\_UNIT S2480142962  
 N 350 UNIT ID"G73\_CIR\_STIRN\_C" [Резьбонар. образец круго  
 N 351 [<unit ID="G73\_CIR\_STIRN\_C" CH\$="1" APP="0" XS=""  
 N 352 T8 CW0 HC2  
 N 353 G197 S350.141 M103  
 N 354 M8  
 N 355 G110 C0  
 N 356 G0 X235 Z5  
 N 357 G147 K2.000  
 N 358 G745 ZS0 K235 A45 V0 Wi90 Q4  
 N 359 G73 ZE-53 F1  
 N 360 G47 M9  
 N 361 G14 Q0  
 N 362 END\_OF\_UNIT S2082756679  
 N 500 UNIT ID"G74\_CIR\_STIRN\_C" [Сверление образец круго  
 N 501 [<unit ID="G74\_CIR\_STIRN\_C" CH\$="1" APP="0" XS=""  
 N 502 T4 CW0 HC2  
 N 503 G197 S2106.462 G195 F0.25 M104  
 N 504 M8  
 N 505 G110 C0  
 N 506 G0 X160 Z5  
 N 507 G147 K2.000  
 N 508 G745 ZS0 K160 A45 V0 Wi90 Q4  
 N 509 G74 ZE-60 D0 V2  
 N 510 G47 M9

N 207 G810 NS24 NE26 P5 I0 K0 E0.25 X105 H0 Q0  
 N 208 G14 Q0  
 N 209 G47 M9  
 N 210 END\_OF\_UNIT S2918193359  
 N 150 UNIT ID"G890\_ICP" [G890 обраб. контура ICP]  
 N 151 [<unit ID="G890\_ICP" CH\$="1" APP="0" XS=""  
 N 152 T2 CW0  
 N 153 G96 S270 G95 F0.3 M4  
 N 154 M8  
 N 155 G0 X135 Z5  
 N 156 G47 P2.000  
 N 157 G890 NS24 NE21 E0.2 V0 Q0 H3 O0 B0  
 N 158 G14 Q0  
 N 159 G47 M9  
 N 160 END\_OF\_UNIT S24083312  
 N 300 UNIT ID"G74\_CIR\_STIRN\_C" [Сверление образец  
 N 301 [<unit ID="G74\_CIR\_STIRN\_C" CH\$="1" APP=""  
 N 302 T5 CW0 HC2  
 N 303 M14  
 N 304 G197 S795.775 G195 F0.25 M104  
 N 305 M8  
 N 306 G110 C45  
 N 307 G0 X245 Z5  
 N 308 G147 K2.000  
 N 309 G745 YK0 ZS0 K245 A0 V0 Wi180 Q2  
 N 310 G74 ZE-53 D0 V2  
 N 311 G47 M9  
 N 312 G14 Q0  
 N 313 END\_OF\_UNIT S2711325658  
 N 314 UNIT ID"G74\_CIR\_STIRN\_C" [Сверление образец  
 N 315 [<unit ID="G74\_CIR\_STIRN\_C" CH\$="1" APP=""  
 N 316 T6 CW0 HC2  
 N 317 M14  
 N 318 G197 S818.511 G195 F0.25 M104

N 510 G47 M9  
 N 511 G14 Q0  
 N 512 END\_OF\_UNIT S2620592972  
 N 550 UNIT ID"G73\_CIR\_STIRN\_C" [Резьбонар.  
 N 551 [<unit ID="G73\_CIR\_STIRN\_C" CH\$="1"  
 N 552 T9 CW0 HC2  
 N 553 G197 S875.352 M103  
 N 554 M8  
 N 555 G110 C0  
 N 556 G0 X160 Z5  
 N 557 G147 K2.000  
 N 558 G745 ZS0 K160 A45 V0 Wi90 Q4  
 N 559 G73 ZE-60  
 N 560 G47 M9  
 N 561 G14 Q0  
 N 562 END\_OF\_UNIT S3243228119  
 N9900 UNIT ID"END"  
 N9901 [<unit ID="END" ME="30" NS="" G14=''  
 N9902 M30  
 N9903 END\_OF\_UNIT  
 END

Висновок: Програма обробки деталі «Шпиндель» з матеріалу Сталь 12ХНЗА обмежена 200 кадрами, необхідний час для виконання обробки складає  $3 \text{ хв} + 5 \text{ хв} = 8 \text{ хв}$ . Використано 6 інструментів.

#### **4. Моделювання і розрахунок вихідного вала за допомогою INVENTOR**

Для достовірності розрахунків теоретичних, виконаємо розрахунок шпинделя в середовищі САПР AutoDesk Inventor. Даний модуль потрібний для моделювання поведінки деталі за умови навантаження та дає більш точну інформацію з врахуванням маси шпинделя та деяких його динамічних характеристик. Для початку проектуємо вал шпинделя в «Генераторі валів», в якому є функція з розрахунків. Напружено-деформований стан визначаємо в «Аналізі напружень».

Для аналізу характеристик шпинделя під впливом сили різання, окружної сили та моменту першочергово було спроектовано шпиндель (рисунок 4.1.) з врахуванням усіх конструктивних елементів та матеріалів.

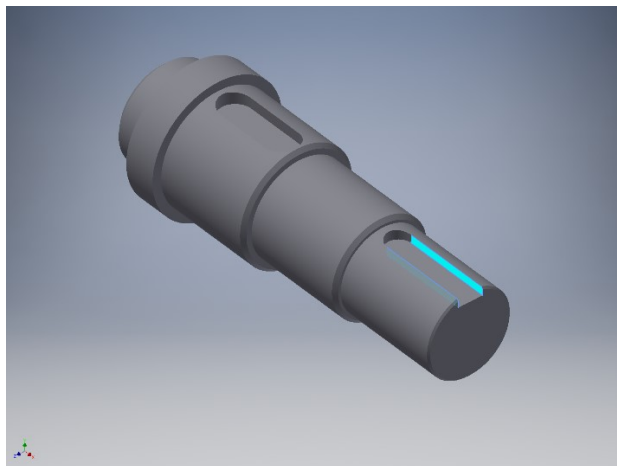
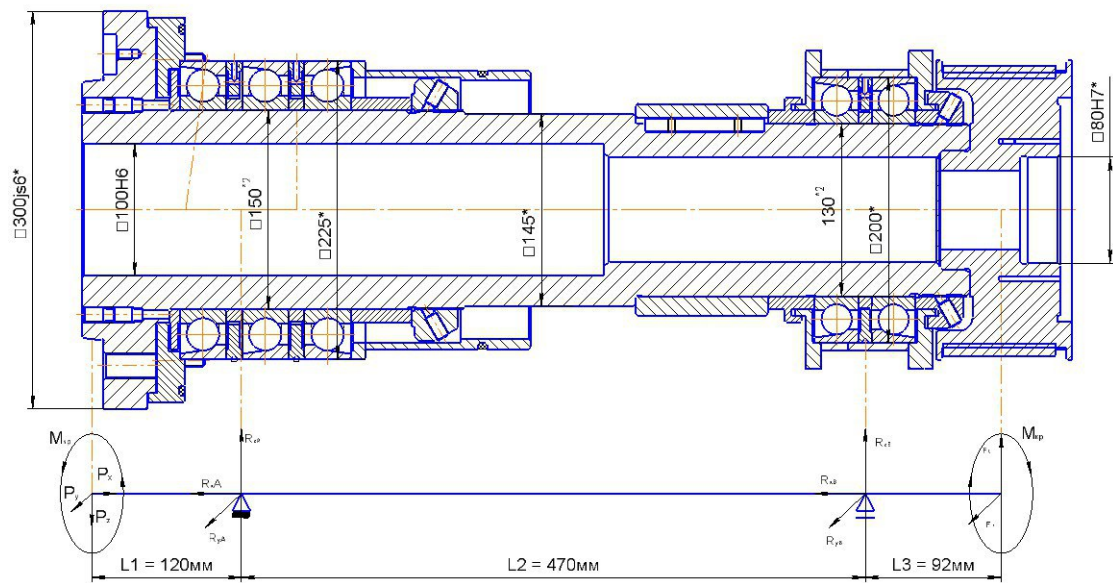
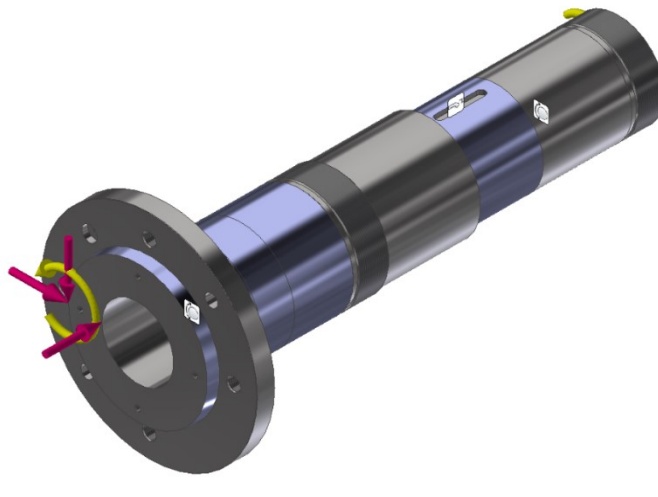


Рисунок 4.1. Спроектowana тривимірна модель шпинделя в модулі «Генератор валів»

Після чого розроблено розрахункову схему, яка зображена на рисунку 4.2.



а)



б)

Рисунок 4.2. Розрахункова схема шпинделя – а) та 3D її зображення – б)

Для отримання даних по розрахунках було згенеровано звіт з розрахунків, який складається з таблиця графіків. Нижче наведено графіки розрахунків.

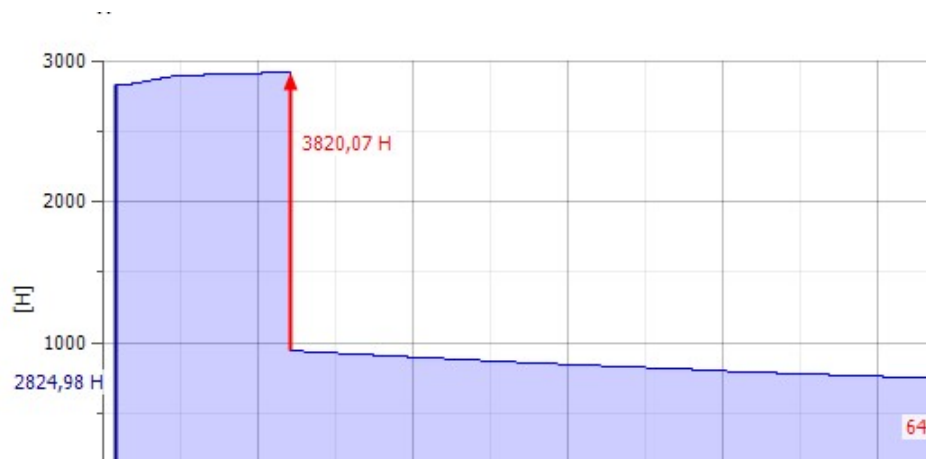


Рисунок 4.3. Сила зсуву

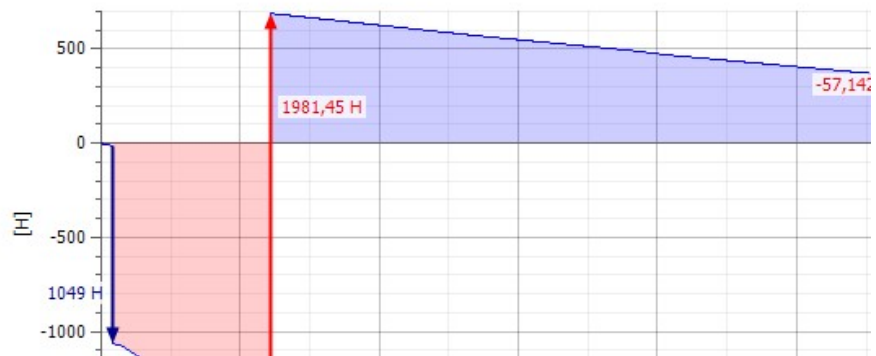


Рисунок 4.4. Сила зсуву по площині YZ



Рисунок 4.5. Згинальний момент

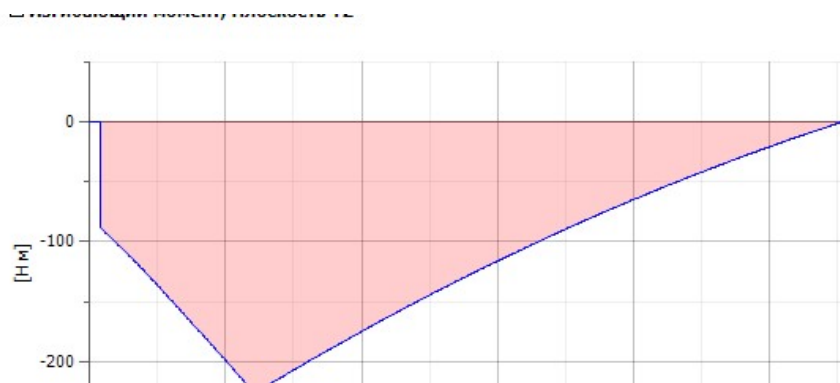


Рисунок 4.6. Згинальний момент на площині YZ

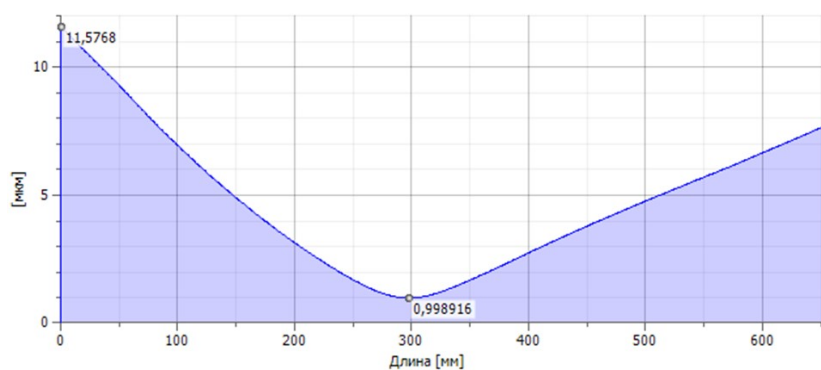


Рисунок 4.7. Відхилення

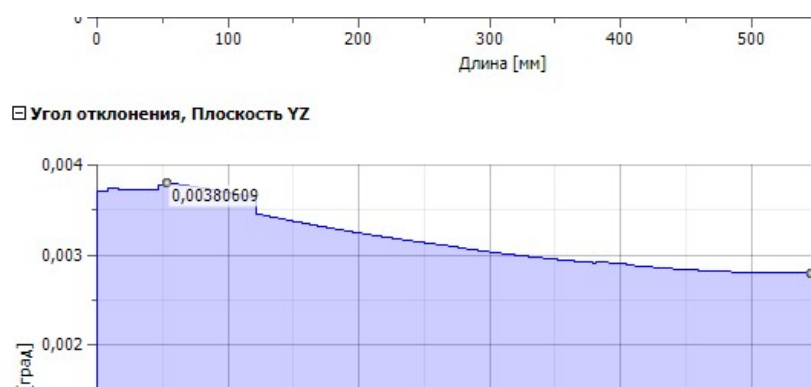


Рисунок 4.8. Відхилення на площині YZ

Порівнявши теоретичні розрахунки з розрахунками в INVENTOR, можна помітити, що є відхилення значень, але вони знаходяться в межах допустимих значень. На різницю результатів впливає те, що при аналітичних розрахунках не враховується маса та матеріал шпинделя.

Для визначення небезпечних ділянок шпинделя використовуємо модуль «Аналіз напружень». Розрахунок дає змогу уникнути ризики при виготовленні та



проектуванні валу, отже, зекономити на бракованих деталях. Результати розрахунків представлені нижче.

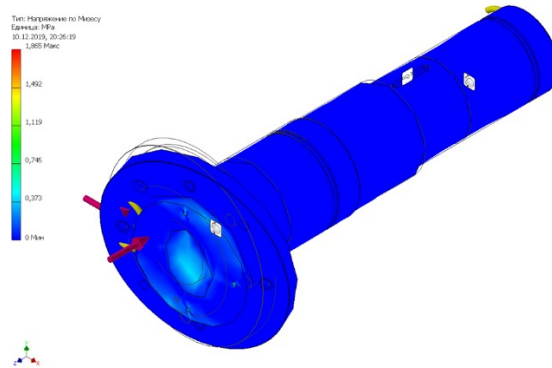


Рисунок 4.9. Напруження по Мізесу

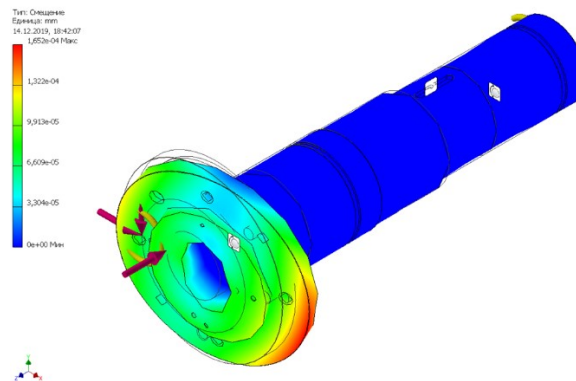


Рисунок 4.10. Зміщення

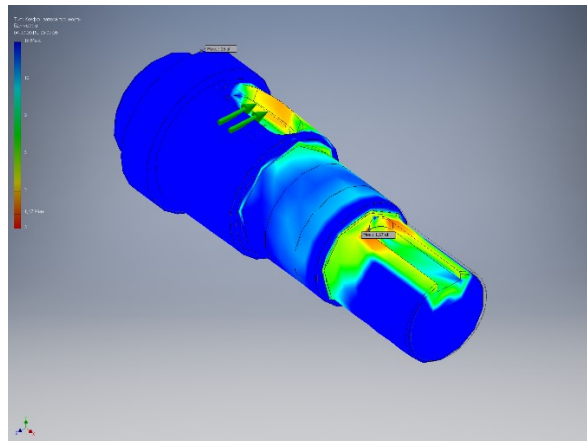


Рисунок 4.11. Коефіцієнт запасу міцності

Висновки: величина деформації невелика і максимальне зміщення залишається в допустимих рамках величини для верстата підвищеної точності. Шпиндель відповідає вимогам для виготовлення типових деталей «Кільце». Також потужності верстата вистачає для того, щоб виконувати деталі, які можуть викликати збільшення сил різання, а саме сили  $P_y$  до 3000 Н та  $P_x$  до 1500 Н.



## Висновки

В даній магістерській дисертації згідно завдання та відповідно мети-покращення показників працездатності верстата ПАБ350 було проаналізовано конструкції верстатів - токарних автоматів, які є аналогами вертикального токарного двошпиндельного верстату з ЧПК ПАБ-350.

Виконано розрахунки та запропоновано заміну напрямних кочення на прямокутні напрямні ковзання з метою підвищення вібростійкості. Визначено навантаження на грані напрямних. Зроблено перевірку по середніх та найбільших тисках на грані напрямних.

Для перевірки ефективності запропонованих заходів для збільшення вібростійкості виконано розрахунок величини стрибків за використання прямокутних напрямних ковзання при русі з малими швидкостями. Результати показали, що величина стрибка не перевищує 5 мм. Для досягнення вищих результатів запропоновано використовувати антистрибкові мастила або накладки на напрямні зі спеціальних матеріалів.

Таким чином, заміна напрямних призводить до збільшення точності позиціонування, а збільшення сил тертя в напрямних не потребує збільшення потужності двигуна.

Змінена компоновка шпиндельного вузла дозволила покращити параметри працездатності шпиндельного вузла за рахунок зменшення шуму, зниження динамічних коливань та підвищення точності. Проведений розрахунок шпиндельного вузла показав, що підібрані підшипники марки FAG забезпечують потрібні характеристики.

В середовищі INVENTOR проведено розрахунок шпинделя та перевірено міцність валу при обробці типової деталі «Кільце підшипника». Розрахунки показали, що коефіцієнт запасу є достатнім, щоб даний вал міг використовуватися і витримувати задані навантаження.

Для деталі «Шпиндель» написана програма обробки в середовищі

### Література

1. <https://tiu.ru/p346556818-dvuhshpindelnyj-tokarnyj-stanok.html>
2. <https://belstanki.ru/catalog/avtomaticheskie-linii/tokarnyy-vertikalnyy-dvukhshpindelnyy-stanok-s-chpu-mod-sm1736f3/>
3. [https://dmtg-stanki.ru/catalog/product/vertikalnye\\_tokarnye\\_stanki\\_s\\_chpu\\_serii\\_vt/](https://dmtg-stanki.ru/catalog/product/vertikalnye_tokarnye_stanki_s_chpu_serii_vt/)
4. <https://www.emag.com/ru/stanki/tokarnye-stanki/modulnye-stanki-vl/vl-5-duo.html>
5. <https://16k20.ru/catalog/tokarnye-stanki-s-chpu/BK202S/>
6. <https://stankom.all.biz/uk/tokarskyj-verstat-zi-chpu-modeli-160ht-vysokoyi-g1341514>
7. <https://stanko.all.biz/uk/verstat-tokarskyj-pab-350-zi-chpu-vertykalnyj-g98205>
8. <https://stanok-kpo.ru/spravochnik/stanki-sovetskie-rossiyskie-importnye-spravochnaya-informatsiya/pab-350.html>
9. Методичні вказівки щодо вибору, обґрунтування та розрахунку основних вузлів металорізальних верстатів, які впливають на технологічні можливості обладнання та точність обробки (шпиндельні вузли, напрямні та тягові пристрої приводу подач) при курсовому та дипломному проектуванні для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / укладачі В.Д. Хіцан, О.М. Ушаков, Є.В. Басова. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – 80 с.
10. [https://www.autoklad.ua/select/podshipniki\\_stupic/fag/](https://www.autoklad.ua/select/podshipniki_stupic/fag/)
11. Статичний розрахунок шпиндельних вузлів на опорах кочення: Методичні вказівки до виконання розрахунків у дипломних проектах та курсових проектах з дисциплін „Металорізальні верстати“, „Металорізальні верстати та обладнання автоматизованого виробництва“, „Конструювання обладнання металообробних цехів“ для студентів напряму підготовки 6.050503, спеціальностей „Металорізальні верстати та системи“ та „Інструментальне

виробництво“ і спеціальностей 7.05050201, 8.05050201 „Технологія машинобудування“. Частина 1 / Уклад.: І.І.Верб, О.В.Даниленко – К.: НТУУ „КПІ ім. Ігоря Сікорського“, 2017. – 104 с.

12. Гусев, В. Г. Конструкции и расчет направляющих металлорежущих станков: учеб. пособие / В. Г. Гусев [и др.] ; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. – 96 с. – ISBN 978-5-9984- 0172-5.

13. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Гідравліка» Розділ «Гідропневмопривод» на тему «Розрахунок гідросистеми автотранспорту» для студентів спеціальності «Колісні та гусеничні машини, ХНАДУ, 2014 р

14. [http://content.heidenhain.de/doku/dp\\_mp620/ru/index.html](http://content.heidenhain.de/doku/dp_mp620/ru/index.html)

15. Функціональне проектування верстатів, роботів та машин в Autodesk Inventor (Частина I): навч. посіб. Навчальне мережне електронне видання. [для студ. вищ. навч. закл.] / В.М. Гейчук. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 394 с

16. В.Б. Струтинський, В.М. Дрозденко, О.Я. Юрчишин. Динамічні режими роботи токарного верстата, обумовлені дією поля гіроскопічних моментів у приводі головного руху. НТУУ „КПІ“, Київ, 2010

17. Шевчук В. А. Совершенствование поступательно движущихся рабочих органов токарных многошпиндельных автоматов: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01. – Киев, 1983. – 237 с.

18. Проников А.С. Надежность машин. М.: Машиностроение, 1978. - 592 с., ил. - (Межиздательская серия «Надежность и качество»)

19. Кочергин А. И., Василенко Т.В. Шпиндельные узлы с опорами качения: учебно-методическое пособие по курсовому проектированию металлорежущих станков для студентов машиностроительных специальностей. – Мн.: БНТУ, 2007. 124с.

20. Кочергин А.И. Конструирование металлорежущих станков. – Мн.: 1997

21. <https://www.knuth.ua/>

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						Документация		
						Документація		
Справ. №	A1				МВ-8105.мп.МД.166.000.СК	Складальне креслення		
						Деталі		
					МВ-8105.мп.МД.166.001	Кулачок	1	
					МВ-8105.мп.МД.166.002	Упор	1	
		3			МВ-8105.мп.МД.166.003	Корпус	1	
		4			МВ-8105.мп.МД.166.004	Прокладка	1	
		5			МВ-8105.мп.МД.166005	Поршень	1	
		6			МВ-8105.мп.МД.166.006	Тяга	1	
		7			МВ-8105.мп.МД.166.007	Планшайда	1	
		8			МВ-8105.мп.МД.166.008	Кулачок	1	
		9			МВ-8105.мп.МД.166.009	Кулачок	1	
		10			МВ-8105.мп.МД.166.010	Гайка	1	
		11			МВ-8105.мп.МД.166.011	Пробка	1	
		15			МВ-8105.мп.МД.166.015	Втулка	1	
		16			МВ-8105.мп.МД.166.016	Ось	1	
		18			МВ-8105.мп.МД.166.018	Пружина	1	
					Стандартні вводи			
Подп. и дата		21				Гвинт М5-6dх25.68	6	
						ГОСТ 11738-84		
Инв. № подл.								
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лит.	Лист
	Разраб.							1
	Пров.							2
	Н.контр.							
	Утв.							



Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк	Примітка
				<u>Документація</u>		
A1				Складальне креслення		
				<u>Складальні одиниці</u>		
БК		1	МВ.8105.мп.МД.164.001	Станина	1	
БК		2	МВ.8105.мп.МД.164.002	Супорт	1	
БК		3	МВ.8105.мп.МД.164.003	Корпус	1	
БК		4	МВ.8105.мп.МД.164.004	Шпindelьна бадка	1	
БК		5	МВ.8105.мп.МД.164.005	Електропривід вертикальний	1	
БК		6	МВ.8105.мп.МД.164.006	Направляючі вертикальні	1	
БК		7	МВ.8105.мп.МД.164.007	Передача вертикальна	1	
				"гвинт-гайка"		
БК		8	МВ.8105.мп.МД.164.008	Електропривід горизонтальний	1	
БК		9	МВ.8105.мп.МД.164.009	Направляючі горизонтальні	1	
БК		10	МВ.8105.мп.МД.164.010	Передача горизонтальна	1	
			МВ.8105.мп.МД.164.010	«гвинт гайка»		
БК		11	МВ.8105.мп.МД.164.010	Кінцева опора гвинта	1	
БК		12	МВ.8105.мп.МД.164.011	Блок кінцевих вимикачів	1	
					1	
				<u>Деталі</u>	1	
					1	
		13		Гайка	1	
		14		Гайка	1	
				МВ–МВ.8105.мп.МД.164.000. СК		
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата	<div>Супорт правий.</div> <div>Складальний кресленик</div>	
Розроб.	Колода Я.М.					
Перев.	Гаврушкевич А.Ю.					
Н.контр						
Затв.	Протасов С.В.					
					Літ.	Аркуш
						1
					Аркушів	2
					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ММІ, МВ–81мп	
					ММІ МВ–42	

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк	Примітка	
		15		Гайка			
		16		Гайка	1		
		17		Корпус	1		
		18			1		
		19			1		
		20		Кришка	1		
		21		Кришка	1		
		22			1		
		23		Плита	1		
		24			1		
		25		<u>Стандартні вироби</u>	1		
		26			1		
		27		Гвинт М4-6d×14.48	2		
				ГОСТ 174 75-80			
		28		Гвинт М4-6d×14.48	2		
				ГОСТ 174 75-80			
		29		Манжета 1.1.-32×44-1	3		
				ГОСТ 8752-79			
		30		Манжета 1.1.-32×44-1	3		
				ГОСТ 8752-79			
		31		Манжета	3		
				ГОСТ 8752-79			
		32		Підшипник кочення ГОСТ 8338-57			
		32			2		
		33			1		
				МВ- МВ.8105.мп.МД.164.000. СК			арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис				Дата





Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк	Примітка	
				<u>Документація</u>			
A1				Складальне креслення			
				Вид загальний			
				<u>Складальні одиниці</u>			
БК		1		Шпindelь	1		
БК		2		Гільза	1		
БК		3		Гайка	2		
БК		4		Гайка	2		
БК		5		Кільце	3		
БК		6		Кільце	3		
БК		7		Кільце	3		
БК		8		Втулка	1		
БК		9		Втулка	1		
БК		10		Шків	1		
БК		11		Напрямні ковзання	1		
БК		12			1		
БК		13		Втулка	1		
БК		14		Кільце	1		
БК		15		Кільце	1		
				Кільце	1		
					1		
				<u>Деталі</u>	1		
				МВ-8105.мп.МД.165.000.СК			
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата	Бабка шпиндельна. Складальний кресленик		
Розроб.		Колода Я.М.					
Перев.		Гаврушкевич А.Ю.					
Н.контр							
Затв.		Протасов С.В.			КПІ ім. Ігоря Сікорського, ММІ, МВ-81мп		
					Літ.	Аркуш	Аркушів
						1	3

[illegible]



# Огляд верстатів токарної групи

Токарний вертикальний двошпиндельний верстат з ЧПУ SM1736Ф3



№ з/п	Технічний параметр	Показник
1.	Габаритні розміри	3780х4770х5895 мм
2.	Кількість шпинделів	2 шт.
3.	Кількість супортів	2 шт.
4.	Швидкість обертання шпинделя	0 ... +1700 об / хв
5.	Найбільша довжина заготовки	1600 об / хв
6.	Найбільший діаметр заготовки	320 мм
7.	Потужність приводу головного руху	27,7 кВт

Токарний вертикальний верстат з ЧПУ серії VT30



№ з/п	Технічний параметр	Показник
1.	Габаритні розміри	4480х2440х3400 мм
2.	Кількість шпинделів	1 шт.
3.	Кількість супортів	1 шт.
4.	Швидкість обертання шпинделя	50 – 1200 об/хв
5.	Найбільша довжина заготовки	500 мм
6.	Найбільший діаметр заготовки	650 мм
7.	Потужність приводу головного руху	26 кВт

Токарний двошпиндельний верстат з ЧПУ BK202S



№ з/п	Технічний параметр	Показник
1.	Габаритні розміри	3200х2200х2400 мм
2.	Кількість шпинделів	2 шт.
3.	Кількість супортів	2 шт.
4.	Швидкість обертання шпинделя	50-5000 об / хв
5.	Найбільша довжина заготовки	100 мм
6.	Найбільший діаметр заготовки	200 мм
7.	Потужність приводу головного руху	15 кВт

Токарний двошпиндельний верстат з ЧПУ VL 5 DUO



№ з/п	Технічний параметр	Показник
1.	Габаритні розміри	2700х2100х2400 мм
2.	Кількість шпинделів	2 шт.
3.	Кількість супортів	2 шт.
4.	Швидкість обертання шпинделя	4500 об/хв
5.	Найбільша довжина заготовки	175 мм
6.	Найбільший діаметр заготовки	250 мм
7.	Потужність приводу головного руху	34.1 кВт

Токарний горизонтальний верстат з ЧПУ 160НТ



№ з/п	Технічний параметр	Показник
1.	Габаритні розміри - патронний варіант - прутковий варіант(цанговий)	2720х2440х2080 мм 3255х2440х2080 мм
2.	Кількість шпинделів	1 шт.
3.	Кількість супортів	1 шт.
4.	Швидкість обертання шпинделя: - патронний варіант - прутковий варіант (цанговий)	5 - 4000 об/хв 5 - 6000 об/хв
5.	Найбільша довжина заготовки	120 мм
6.	Найбільший діаметр заготовки	120 мм
7.	Потужність приводу головного руху	12 кВт

Токарний вертикальний двошпиндельний верстат з ЧПУ ПАБ-350

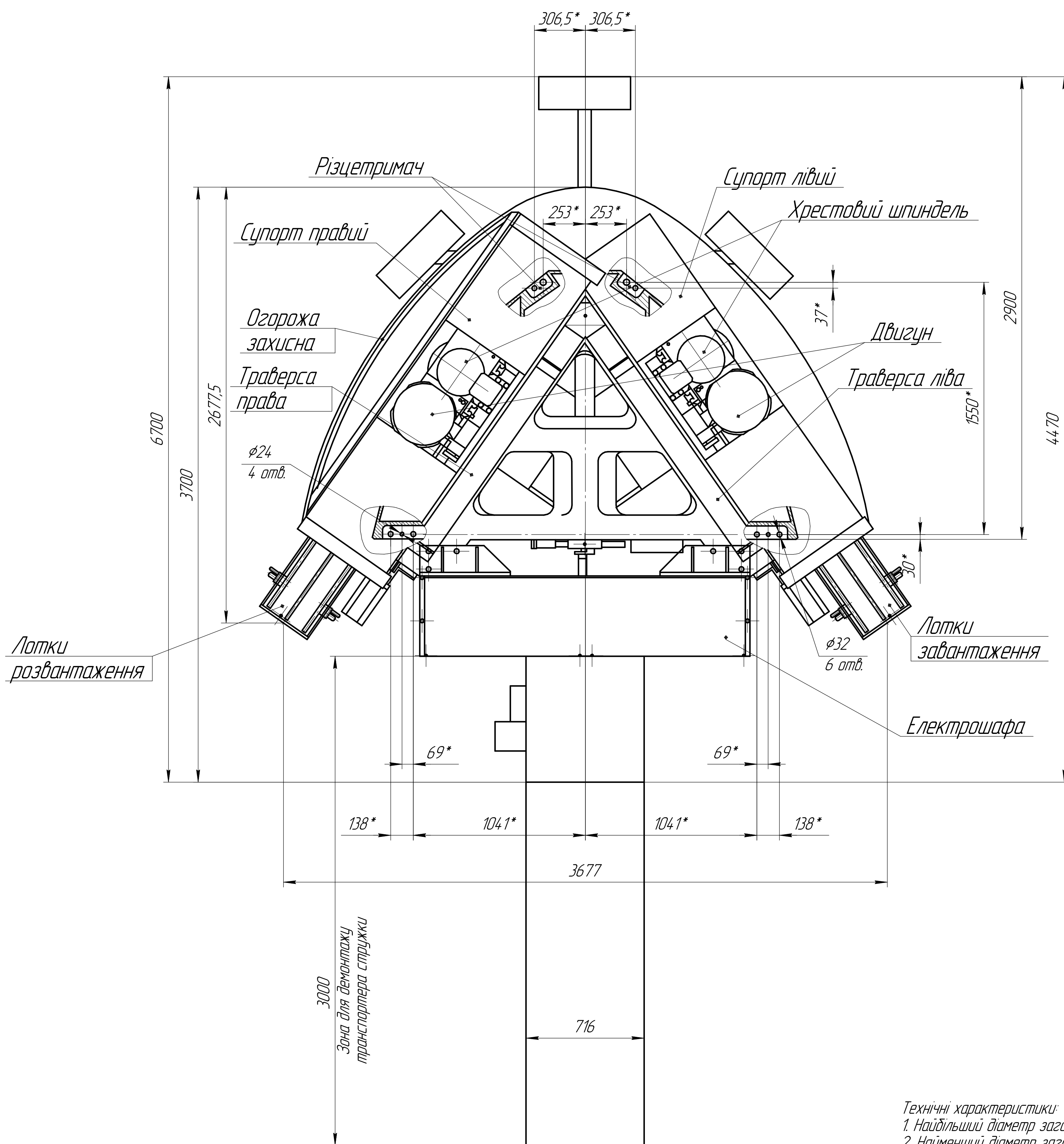
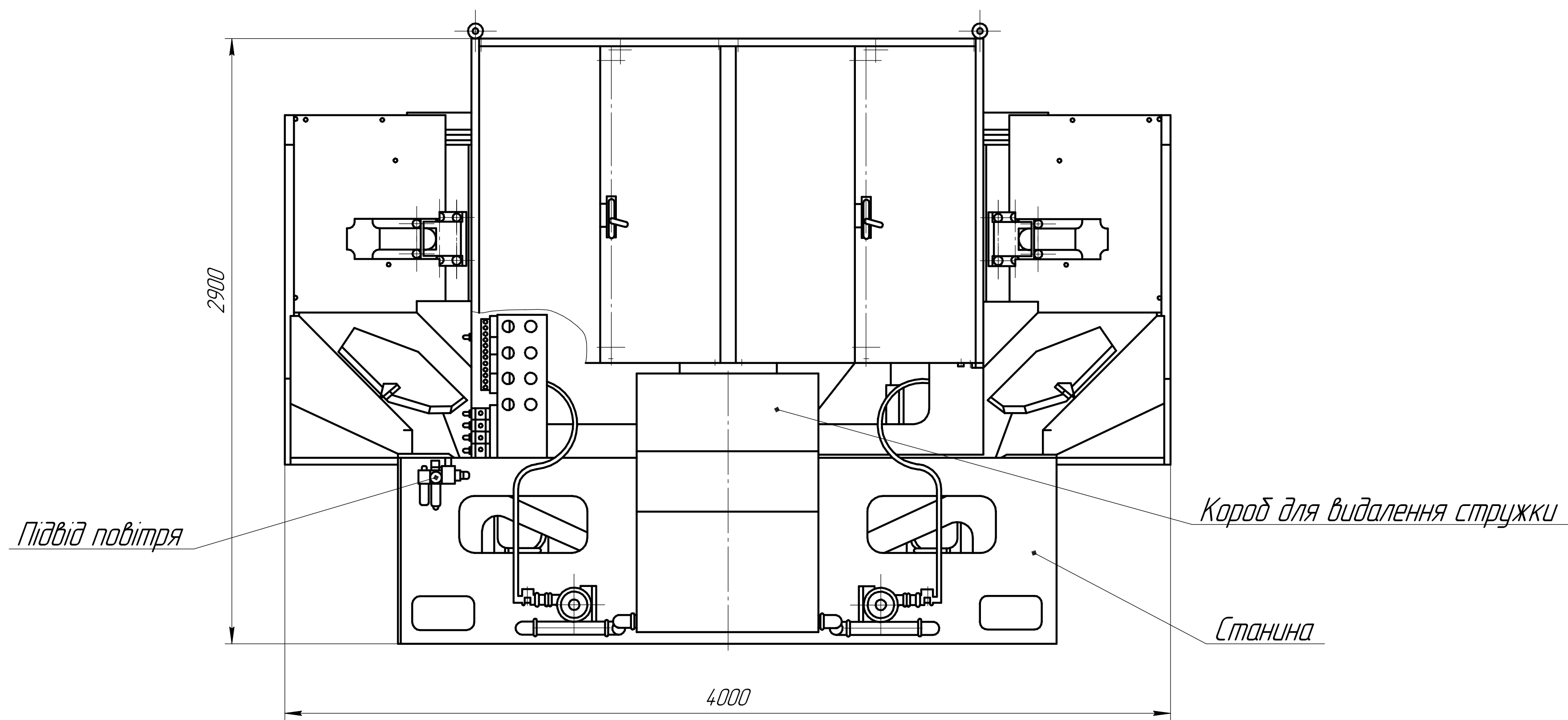


№	Технічний параметр	Показник
1.	Габаритні розміри	3000х3000х3000 мм
2.	Кількість шпинделів	2 шт.
3.	Кількість супортів	2 шт.
4.	Швидкість обертання шпинделя	100-1000 об/хв
5.	Найбільша довжина заготовки	200 мм
6.	Найбільший діаметр заготовки	375 мм
7.	Потужність приводу головного руху	30 кВт

Усі представлені верстати не можуть забезпечити обробку деталі потрібним діаметром — 400 мм. Крім того, на одношпиндельних верстатах за одну операцію обробити деталь «Кільце підшпиника» не можливо. Представлені верстати мають низьку частоту обертання, а у дипл...

Розробник \_\_\_\_\_/Колода Я.М./  
Дата \_\_\_\_\_  
Керівник \_\_\_\_\_/Гаврушкевич А.Ю./  
Дата \_\_\_\_\_



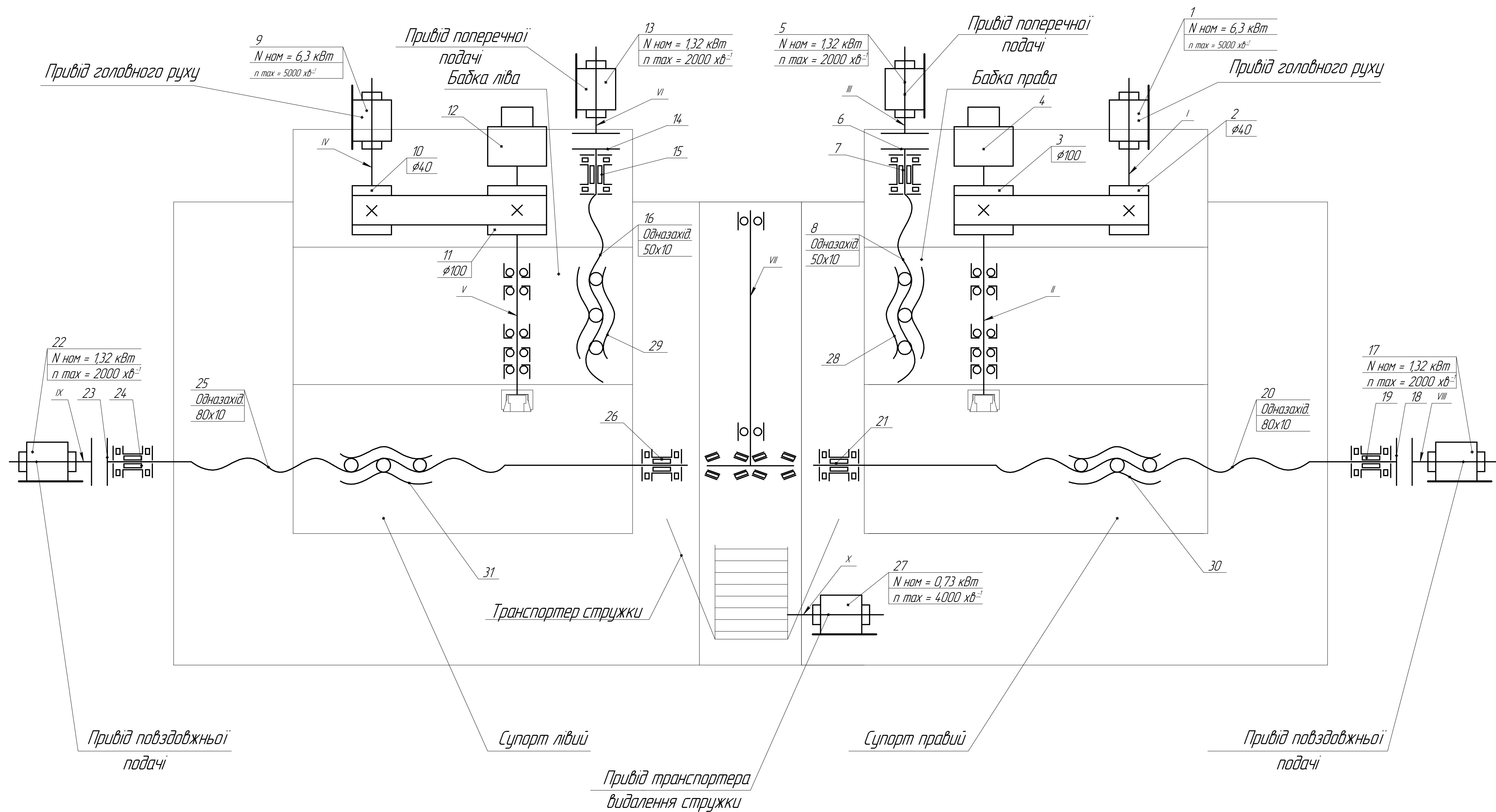


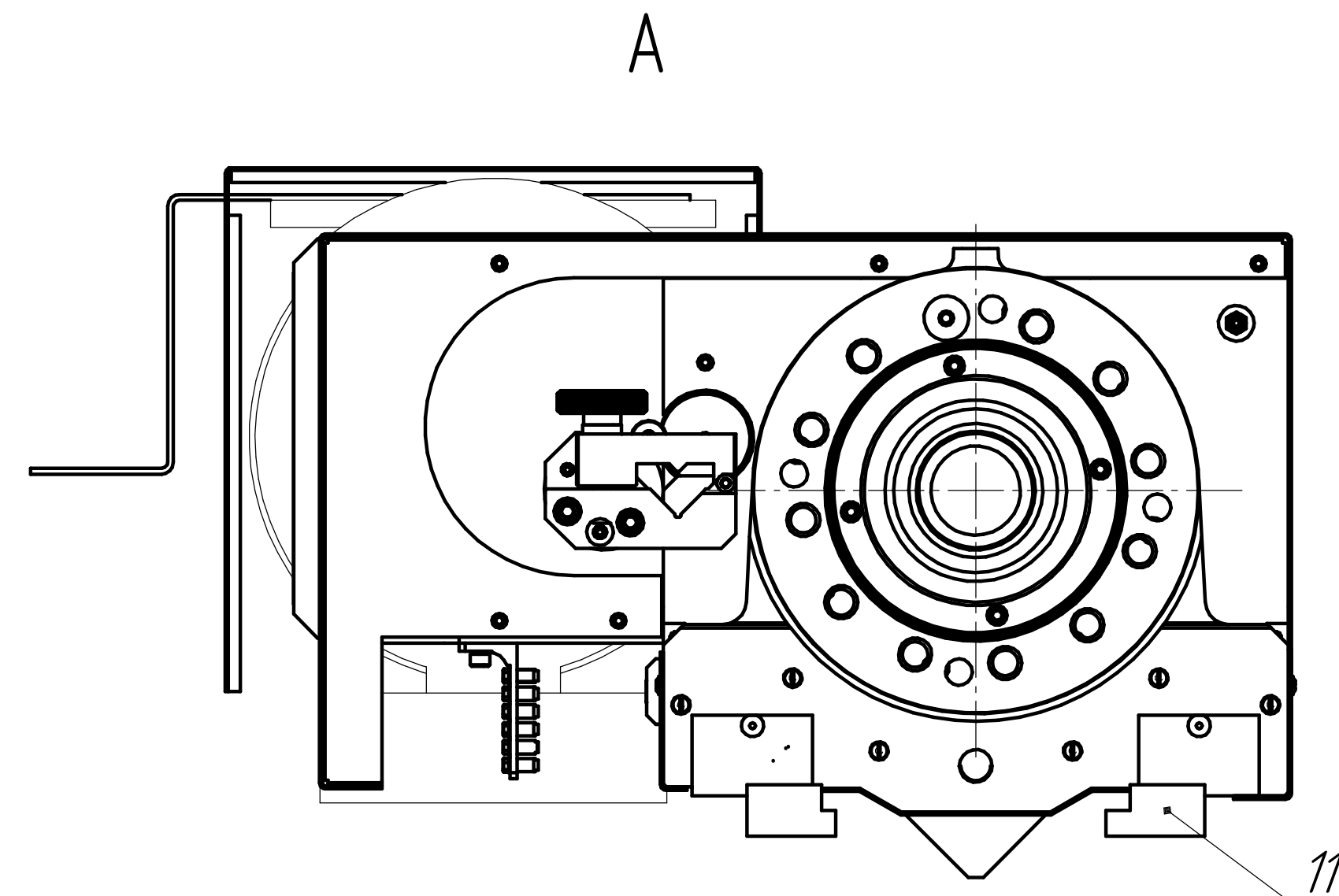
*Технічні характеристики:*

- |   |          |
|---|----------|
| 1. Найбільший діаметр заготовки, мм             | 375      |
| 2. Наименший діаметр заготовки, мм              | 50       |
| 3. Найбільша довжина заготовки, мм              | 200      |
| 4. Потужність, кВт                              | 30       |
| 5. Частота одертання шпінделя, $\text{хв}^{-1}$ | 100–1500 |
| 6. Вага, кг                                     | 8900     |
| 7. Найбільше зусилля подачі, Н                  |          |
| – по осі X                                      | 8000     |
| – по осі Z                                      | 8000     |

\*Розміри для довідок

					<i>МВ-8105.мн.МД.162.000.3В</i>			
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<i>Верстат ПАБ-350.</i> <i>Загальний вигляд</i>		Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Колода ЯМ					В		1:15
Проб.	Габришевич АН					Лист	Листов	1
Т. контр.						<i>КП им. (гора Сікорського), ММ, МВ-81мт</i>		
Н.контр.								
Учт.								

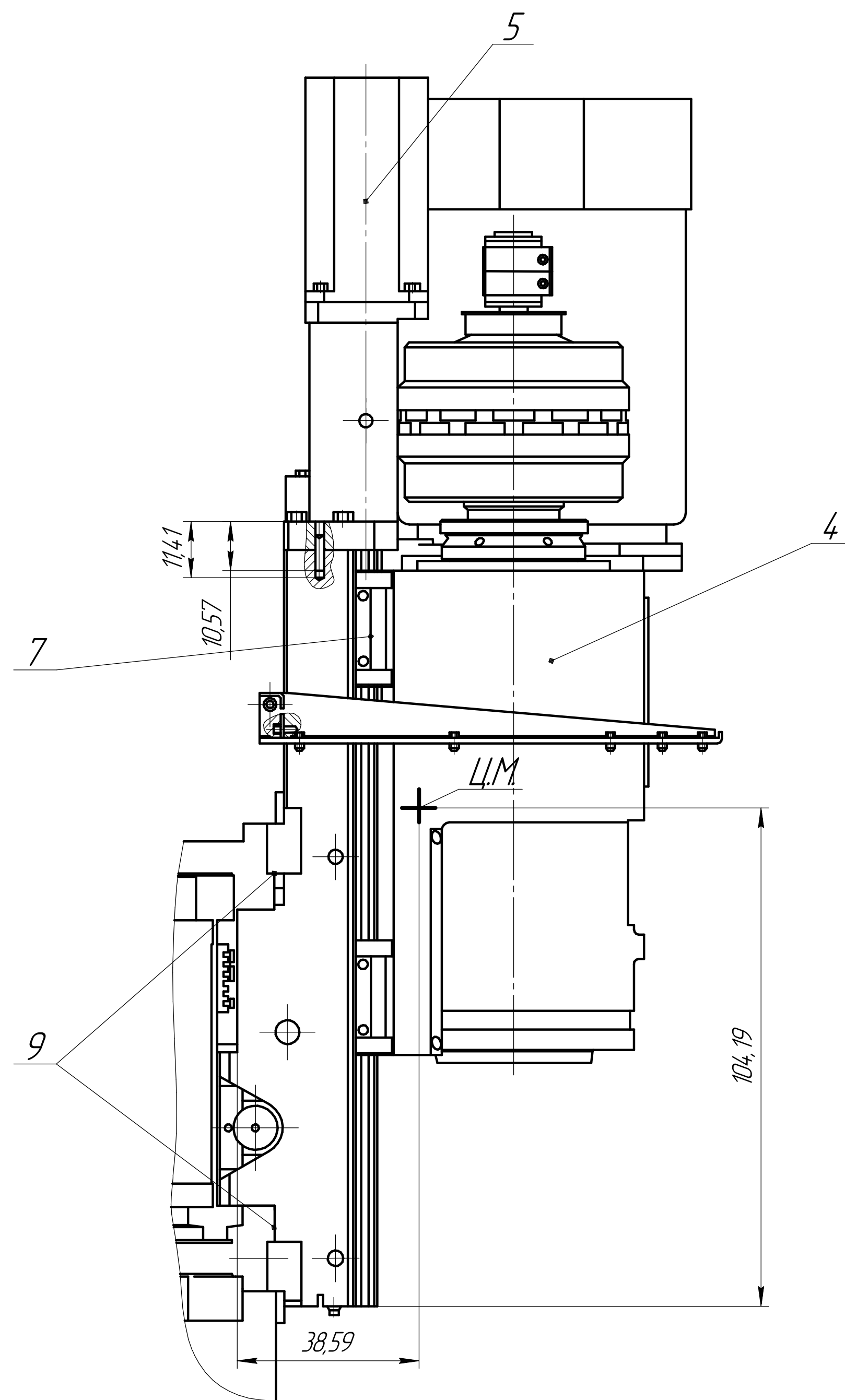
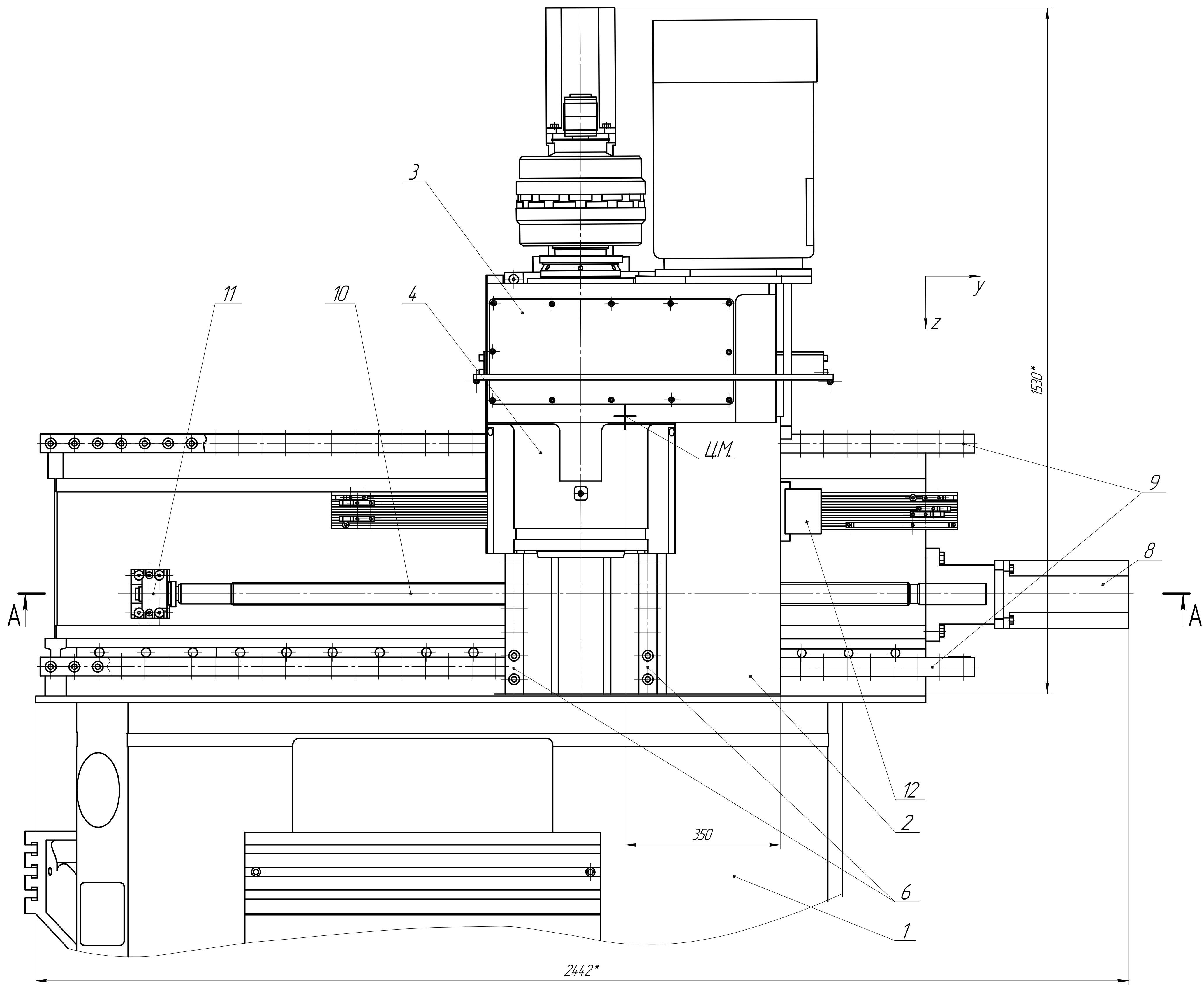
[illegible]



1. Допуск розділності поверхні Д відносно поверхні Е 0,024мм.
2. Прогин ремня поз.112 – 7мм від зусилля 32Н.
3. Одятку виробляти згідно таблицю з подачею масляного тумана згідно 350029-4000-00 001. Допустима різниця температури повітря в приміщенні та поверхні И 15°С.
4. Максимальна частота обертання шпинделя 2000 хв<sup>-1</sup>.
5. Момент вільного обертання шпинделя М=1,19 Н\*м
6. \*Розміри для довідки.

						МВ-8105.мп.МД.165.000.СК				
						Бабка шпиндельная		Лит	Масса	Масштаб
						Складальный кресленик		В	778,14	125
								Лист		Листов 1
						КП им.Заря Скоросного ММ МВ-81мп				

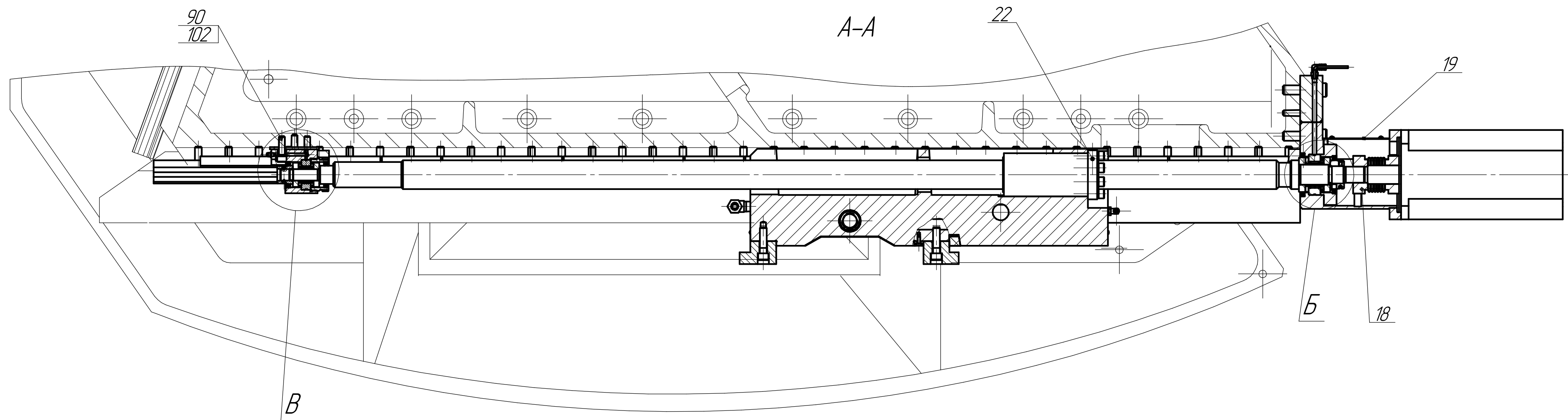




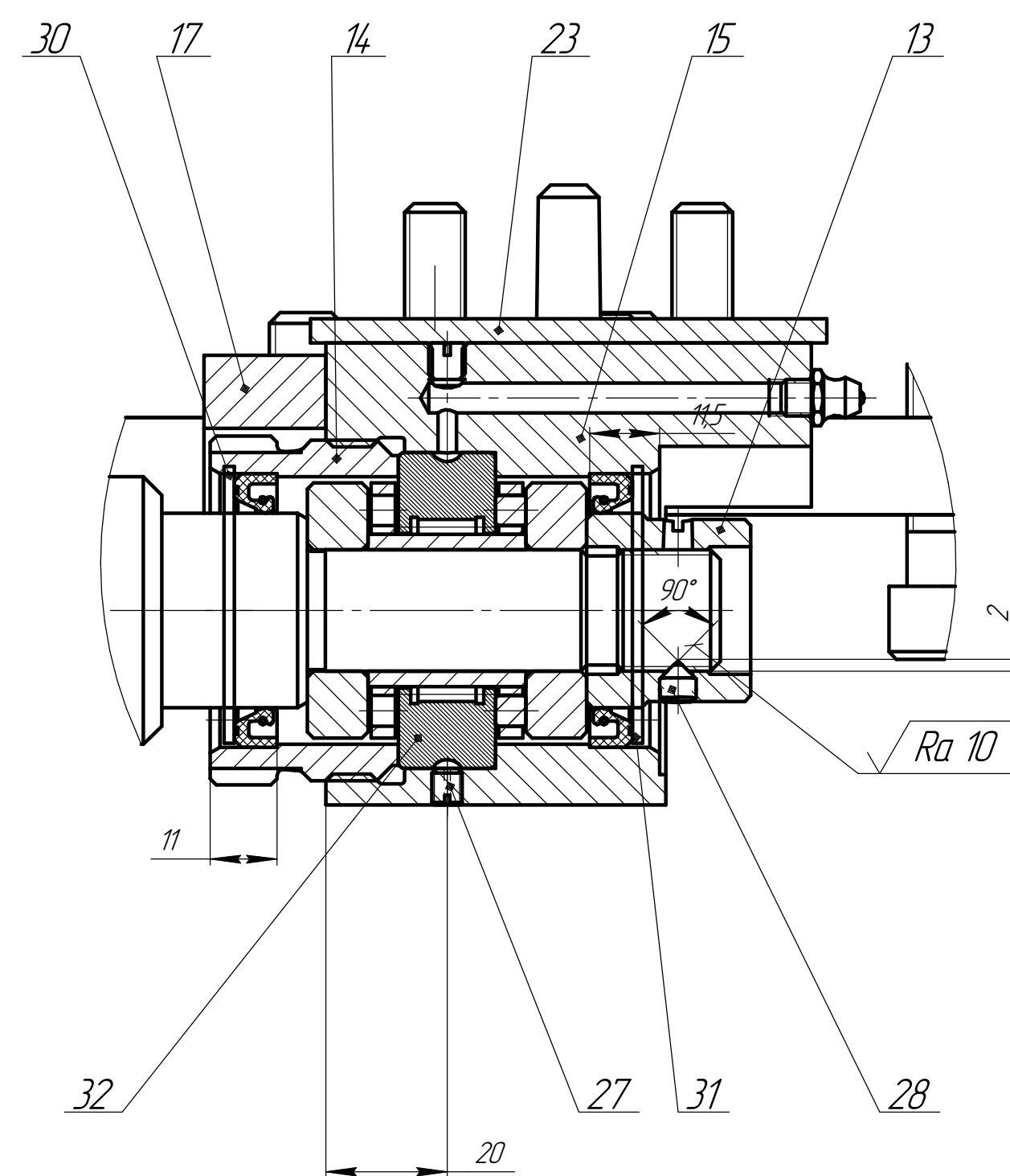
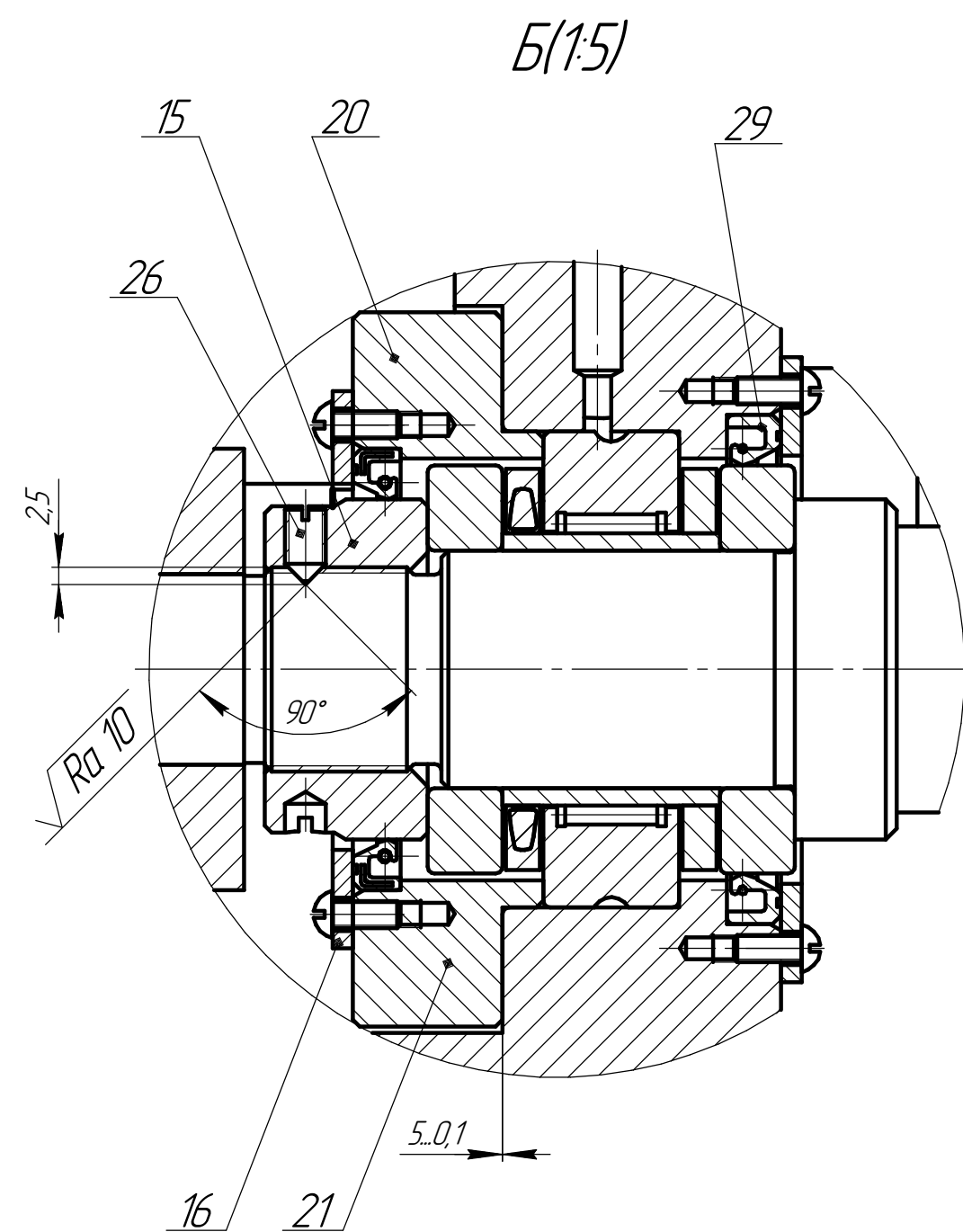
1. Допуск прямолинейности повздовжнього переміщення шпиндельної дабки відносно поверхні блока різцетримача в вертикальній площині по всій довжині – 0,01мм.
  2. Допуск прямолинейности повздовжнього переміщення салазок в горизонтальній площині відносно блоку різцетримачів – 0,01 мм на 300 мм довжини
  3. Допуск перпендикулярності траєкторії переміщення шпиндельної дабки відносно повздовжнього переміщення салазки на довжині 200мм – 0,01мм.
  4. Допуск паралельності 0,012 мм.
  5. Гвинти встановити на герметик.
  6. Зусилля затяжки 64Нм.
  7. Метод контролю гідішньої опресовки по ГОСТ 24054-80
- \*Разміри для довідок

					МВ-8105.мн.МД.164.000.СК						
					Супорт правий. Загальний вигляд			Лист	Маса	Масштаб	
								В			14
								Лист	1	Листов	2
								КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. МВ-8105			





*B(1:5)*



Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

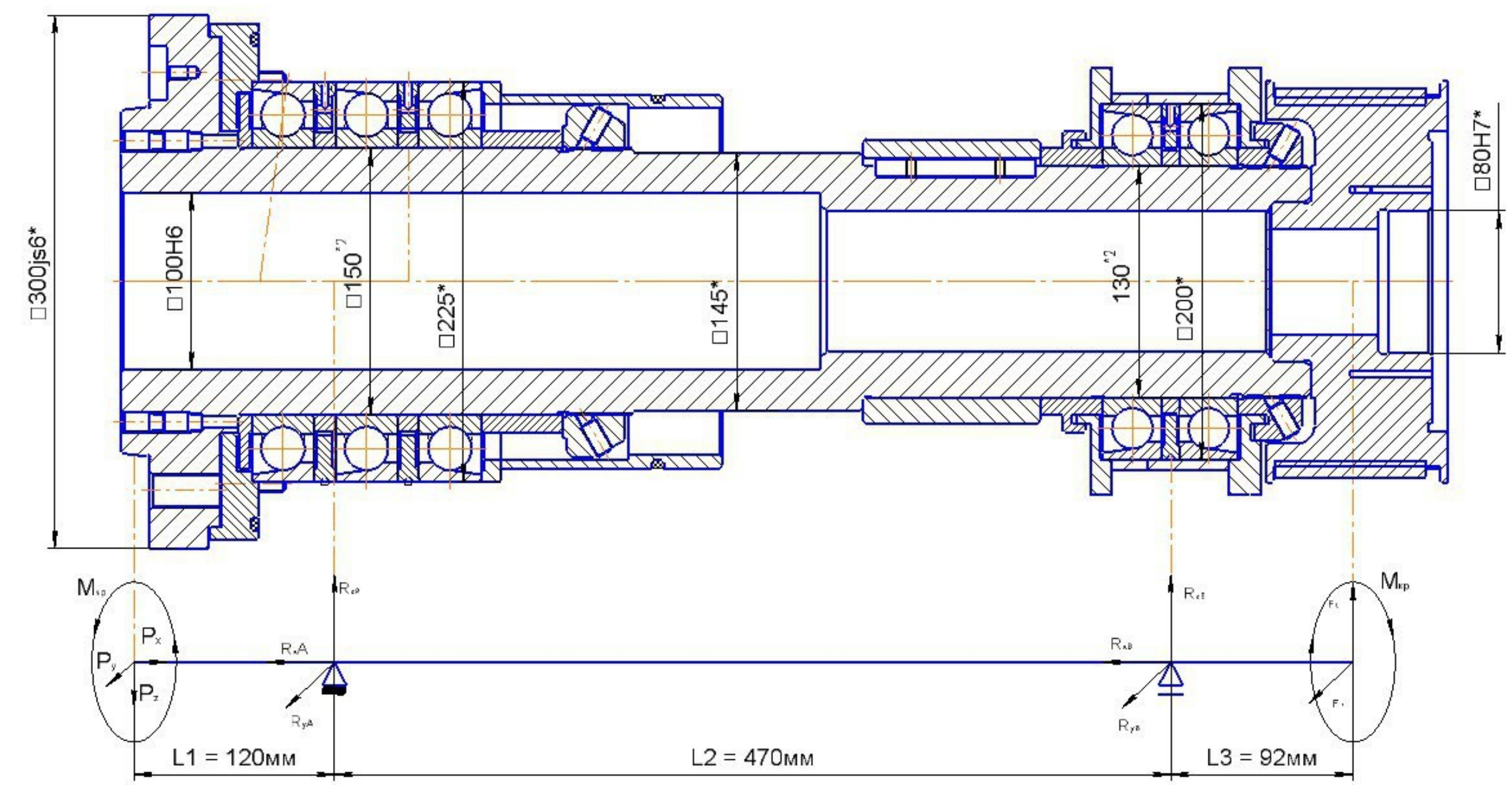
*МВ-8105.мн.МД.164.000. СК*

Лист  
2

Изд. № подл.  
Подп. и дата  
Взам. инд. №



Моделювання і розрахунок вихідного вала за допомогою INVENTOR



Матеріал		Сталь, нікель
Модуль пружності	E	205000 МПа
Модуль жорсткості	G	80000 МПа
Густина	ρ	8280 кг/м^3

Властивість розрахунку

Включити			
Да	Густина	ρ	8280 кг/м^3
Да	Коефіцієнт зміщення при зсуві	β	1,188 бр
	Кількість ділянок		1000 бр
	Режим приведенного напруження		НМН

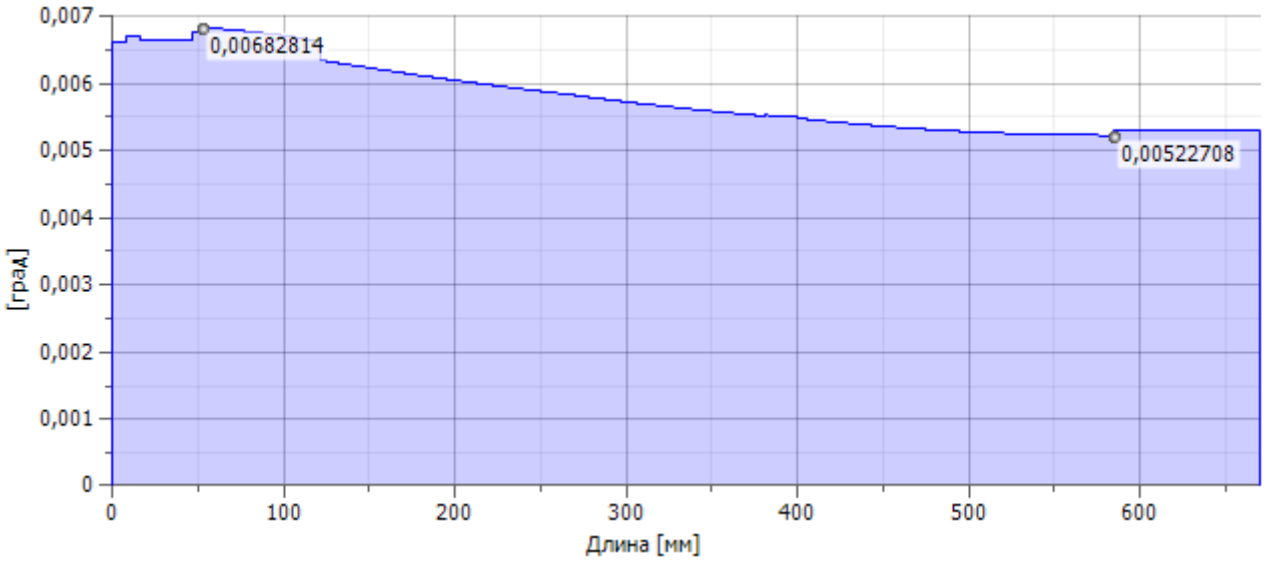
Навантаження

Положення	Радіальна сила			Згинальний момент			Осьова сила	Крутний момент
	Y	X	Значення	Y	X	Значення		
8 мм	1049 Н	2623 Н	2824,983 Н	88 Нм		88,000 Нм	525 Н	525,000 Нм
666,5 мм								-525,000 Нм

Опри

Тип	Положення	Сила реакції			
		Y	X	Значення	Осьова сила
Фіксовані	121,5 мм	1981,452 Н	3266,003 Н	3820,069 Н	525,000 Н
Вільні	584,5 мм	-57,142 Н	-643,003 Н	645,537 Н	

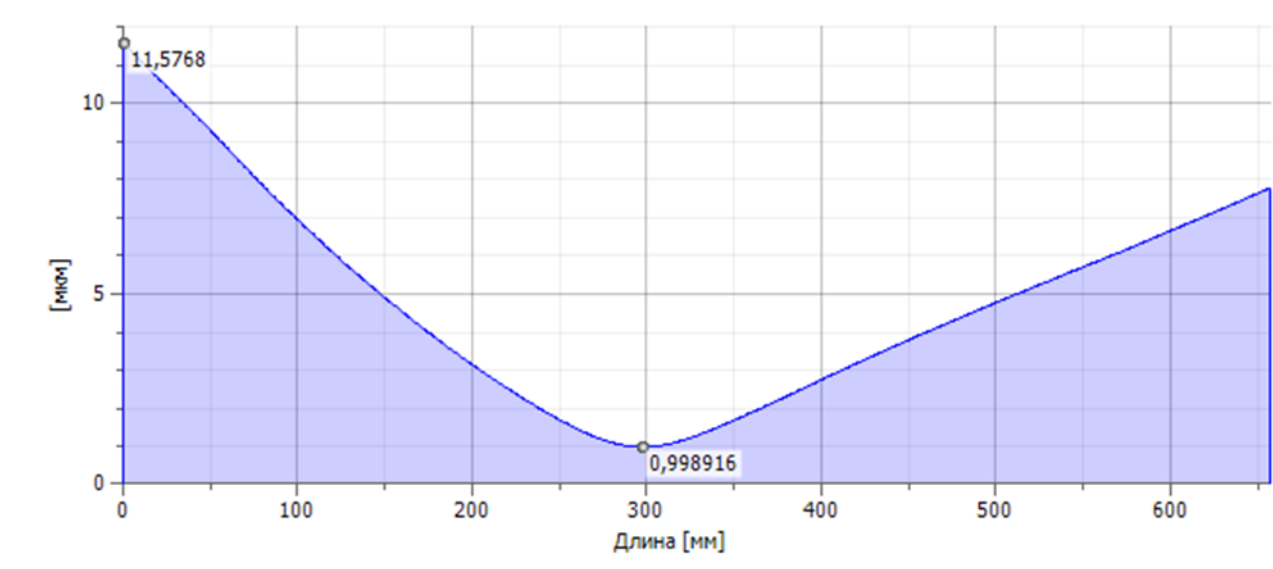
Кут відхилення



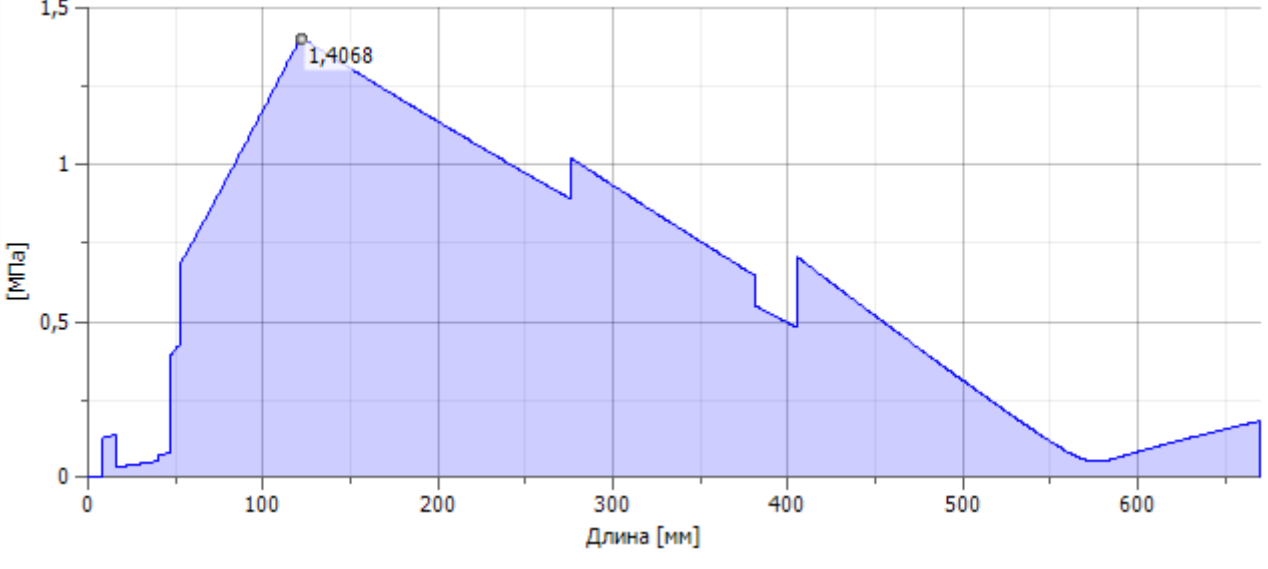
Результат

Довжина	L	670,000 мм
Маса	m	89,257 кг
Максимальне напруження при згині	σ <sub>B</sub>	1,407 МПа
Максимальне напруження при зсуві	τ <sub>S</sub>	0,298 МПа
Максимальне напруження при крученні	τ	1,421 МПа
Максимальне напруження при розтязі	σ <sub>T</sub>	0,053 МПа
Максимальне приведенне напруження	σ <sub>red</sub>	2,567 МПа
Максимальне відхилення	f <sub>max</sub>	11,577 мкм
Кут закручування	φ	0,01 град

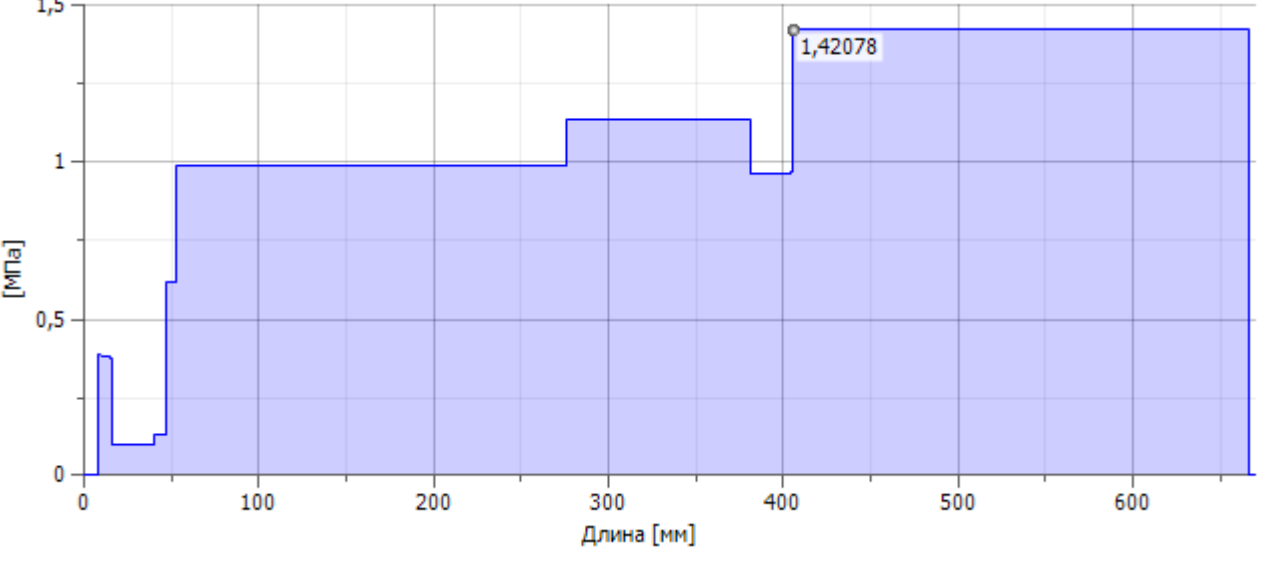
Відхилення



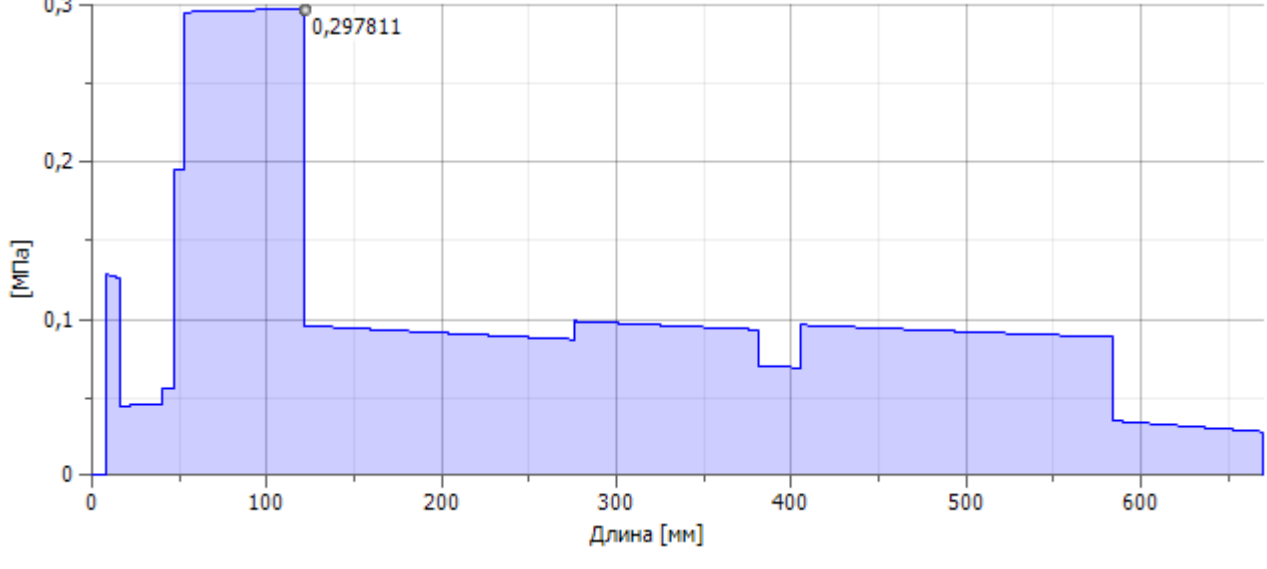
Напруження при згині



Напруження при крученні

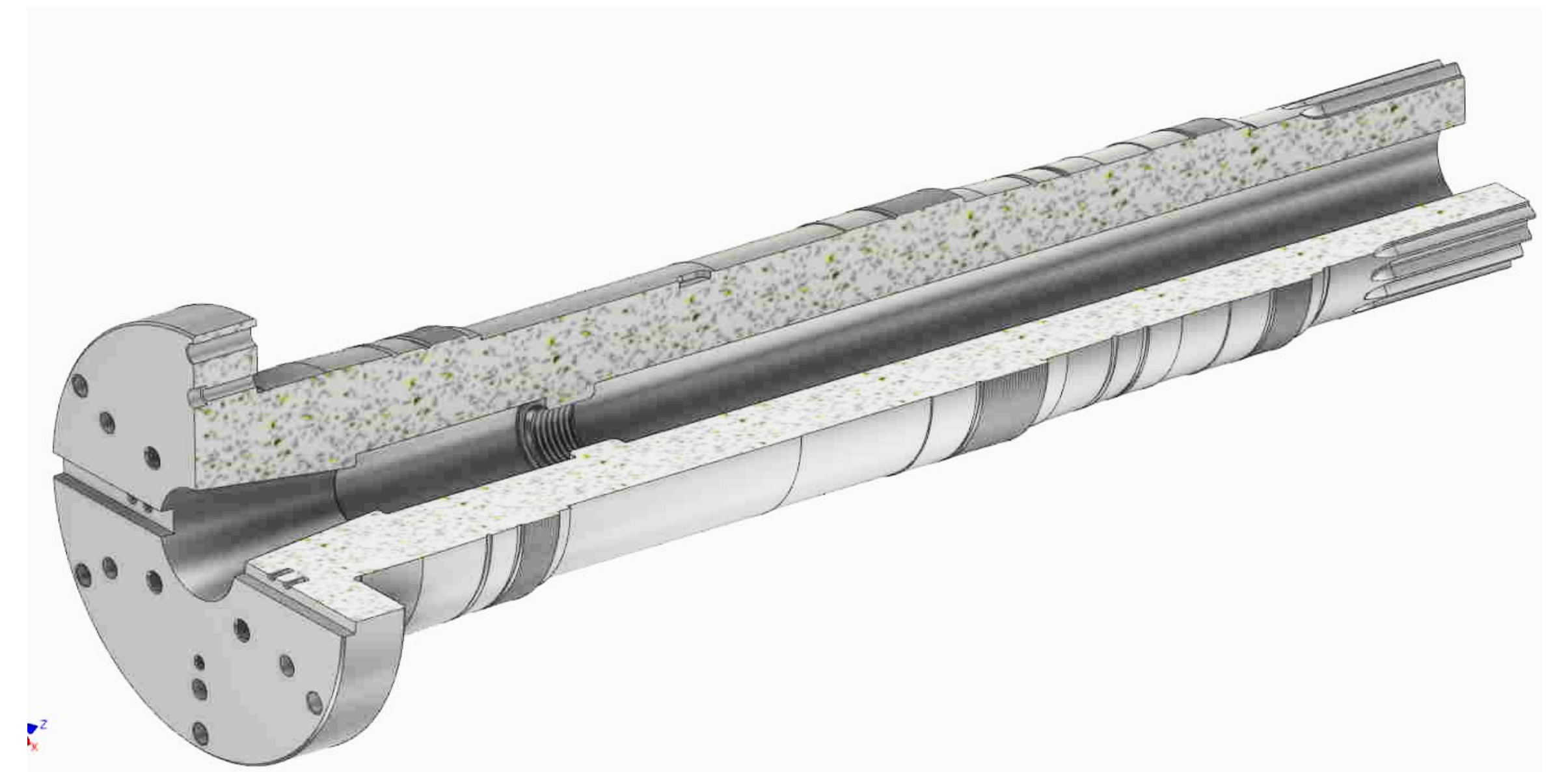
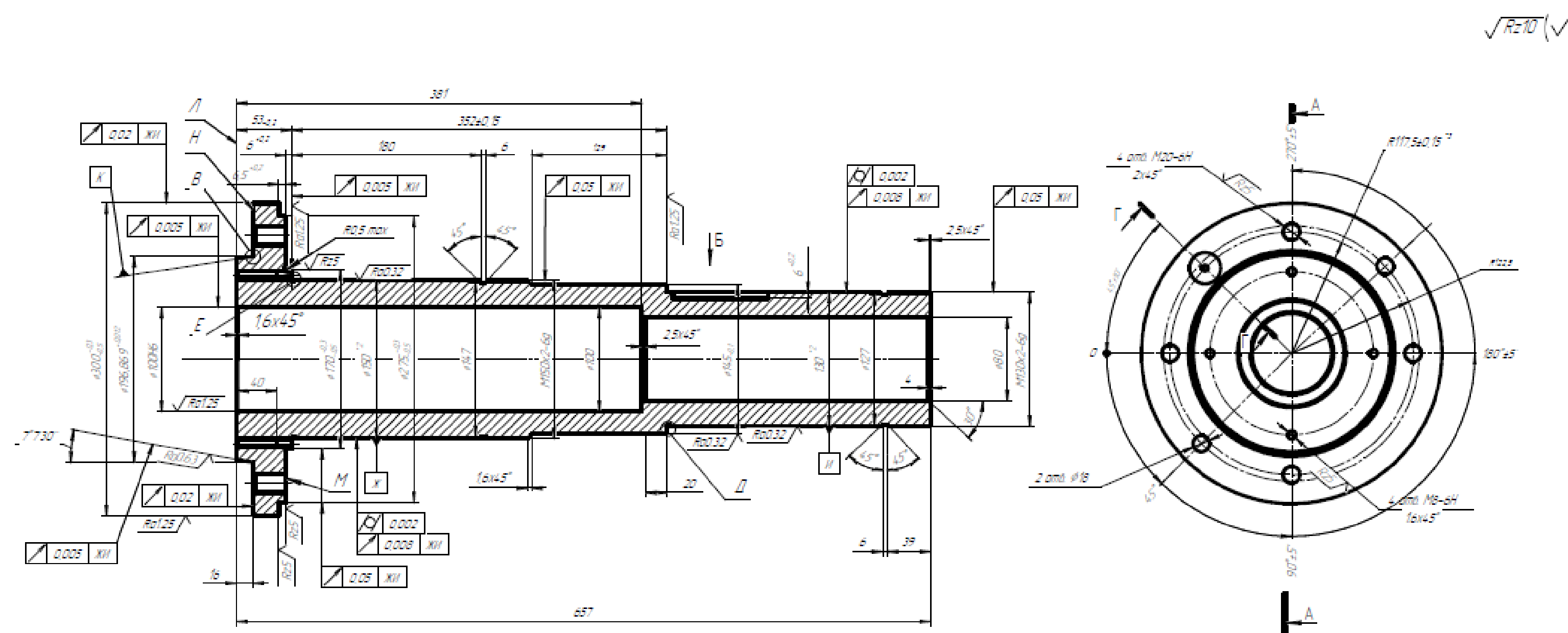


Напруження при розтязі





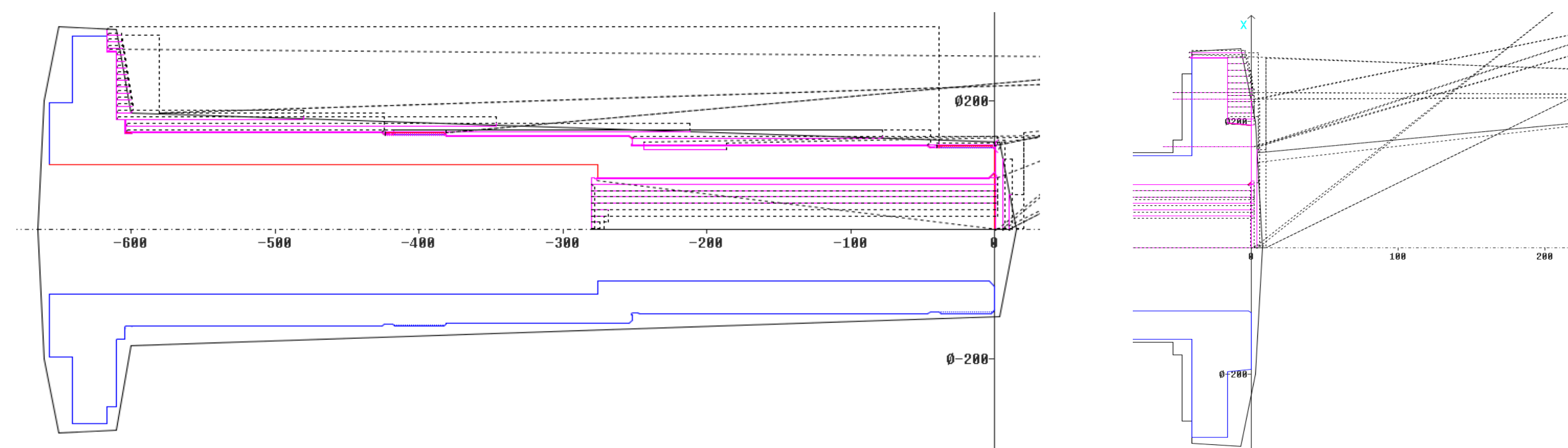
## Програма обробки деталі «Шпindelь» в середовищі Heidenhain



a)

6)

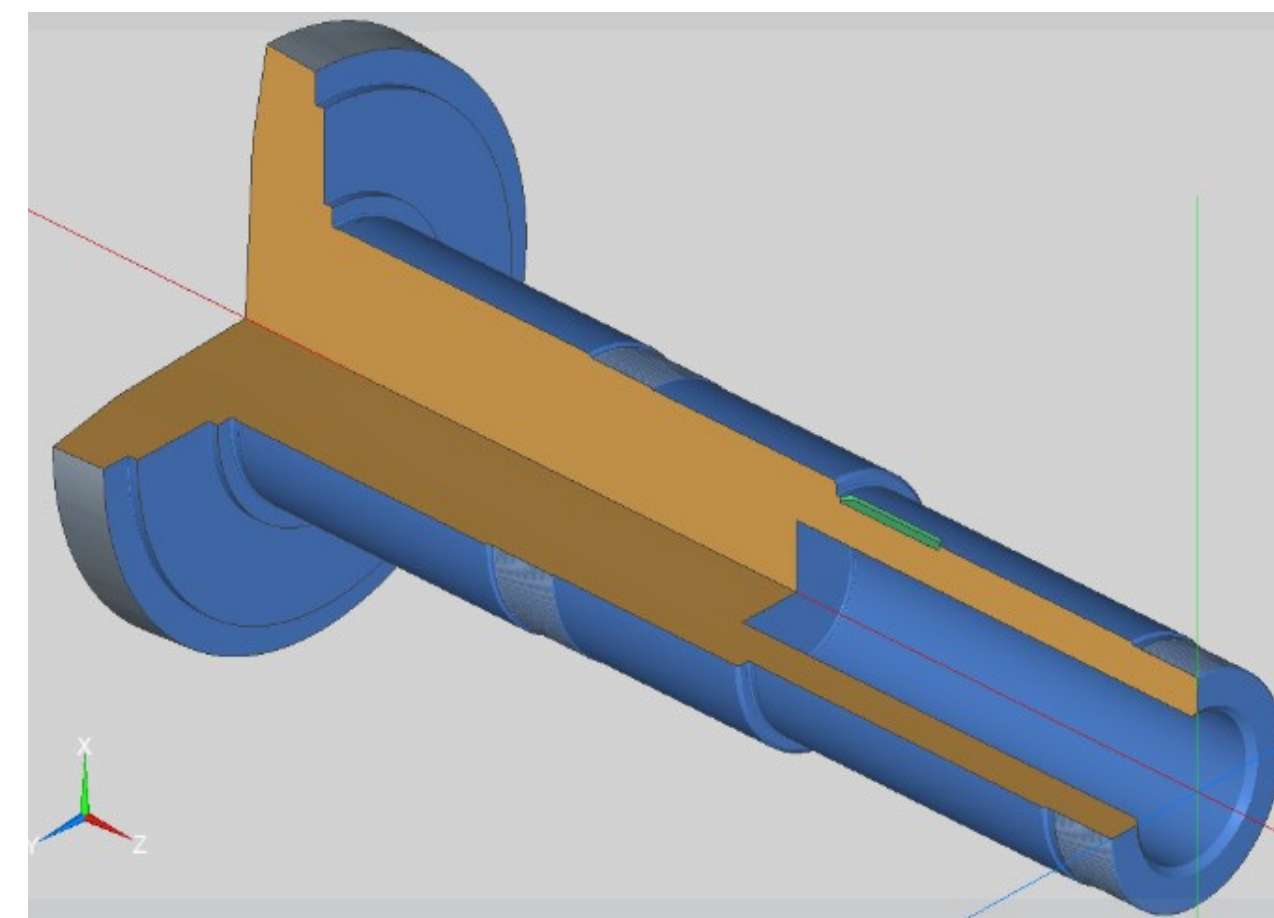
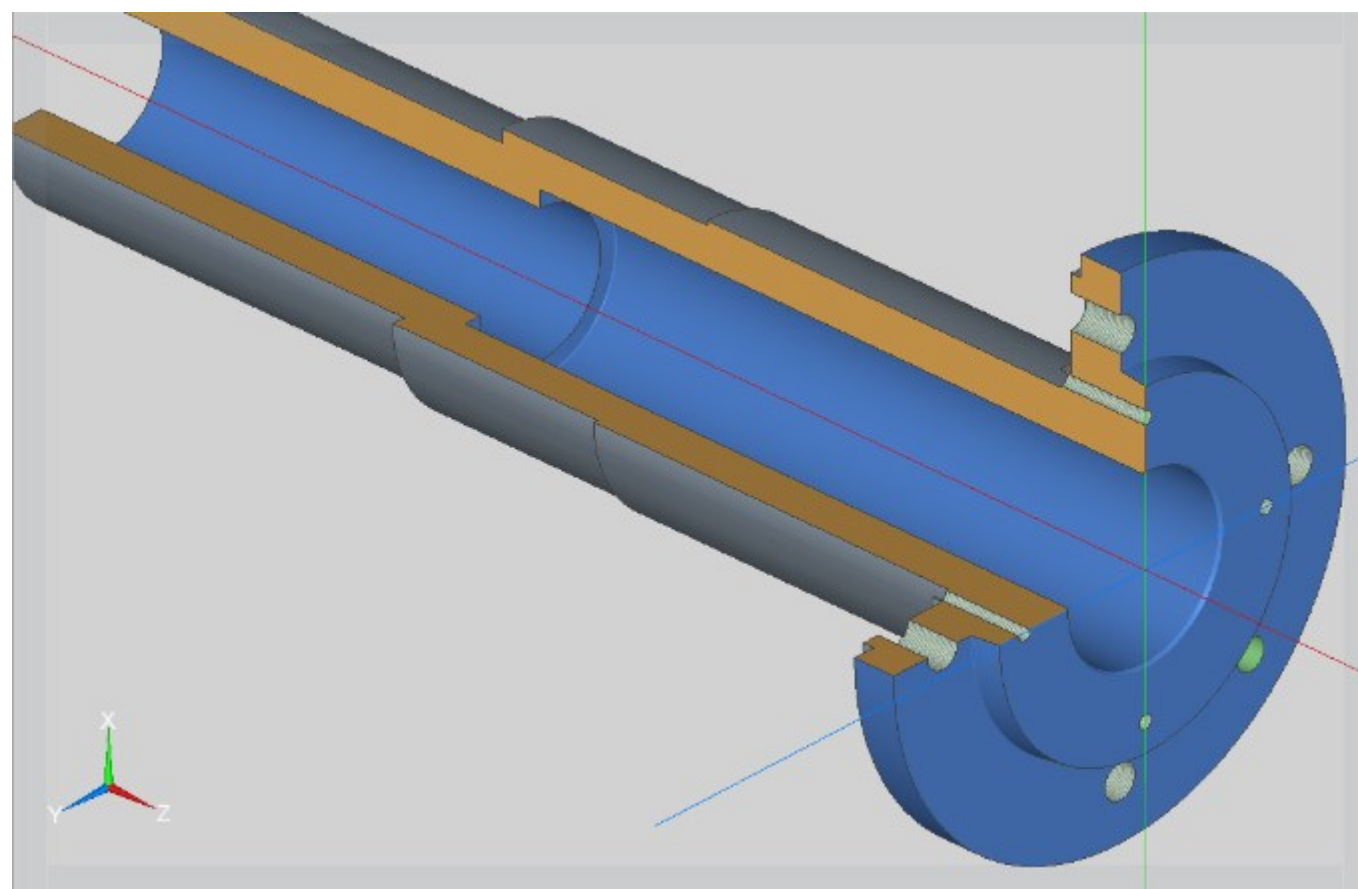
Креслення а) - деталі «Шпindelь» б) - 3D-модель



a)

6)

Проекція траєкторій руху інструменту на площину XZ: а) - перший установ, б) - другий установ



Готова деталь на даному етапі виробництва 3D: а) - перший установ, б) - другий установ

FINISHED [ Готовая деталь ]

N 1 G0 X80 Z0  
N 2 G1 X130 BR-2.5  
N 3 G1 Z-39 BR-1.49  
N 41 G37 Q2 F2 P1.227 A30 W30 R2  
N 4 G1 X127  
N 5 G1 Z-45  
N 6 G1 X130 BR-1.49  
N 7 G1 Z-252  
N 28 G25 H6 I0.4 K5 R1 P0.3 W19.993 A30  
N 8 G1 X145 BR-2  
N 9 G1 Z-381  
N 10 G1 X150 BR-2  
N 11 G1 Z-418 BR-1.49  
N 42 G37 Q2 F2 P1.227 A30 W30 R2  
N 12 G1 X147  
N 13 G1 Z-424  
N 14 G1 X150 BR-1.49  
N 15 G1 Z-604  
N 29 G25 H6 I0.5 K5 R1 P0.3 W45 A45  
N 16 G1 X170  
N 17 G1 Z-610 BR0.5  
N 18 G1 X275  
N 19 G1 Z-616.5  
N 20 G1 X300  
N 21 G1 Z-641  
N 22 G1 X196.869  
N 23 G1 Z-657  
N 24 G1 X100  
N 25 G1 Z-276  
N 26 G1 X80  
N 27 G1 Z0 BR-4

a)

BLANK [ Заготовка ]

```
N 30 G0 X0 Z15
N 31 G1 X135 Z3
N 32 G1 X180 Z-600
N 33 G1 X310 Z-610
N 34 G1 X315 Z-650
N 35 G1 X200 Z-660
N 36 G1 X0 Z-665
N 37 G1 Z15
```

)

Результатом програмування є отримання програми обробки деталі «Шпindel» зі сталі Сталь12ХНЗ, закріпленої в 3-х кулачковому патроні за 2 установи.

Навчальна версія програми HeidenHain обмежена 200 кадрами. Тому керуюча програма, представлена в даній роботі є неповною.

Необхідний час для виконання обробки складає 3  
хв+5 хв=8 хв.

Використано 6 інструментів, а саме: токарний прохідний прямий різець (для чорнової обробки контуру), токарний прохідний прямий різець (для чистової обробки контуру), розточний різець для глухих отворів, спіральне сверло, шпоночна фреза, мітчик.

Розробник \_\_\_\_\_/Колода Я.М./

Дата \_\_\_\_\_

Керівник /Гаврушкевич А.Ю./

Дата \_\_\_\_\_

Код програми а) - готової деталі та б) - заготовки